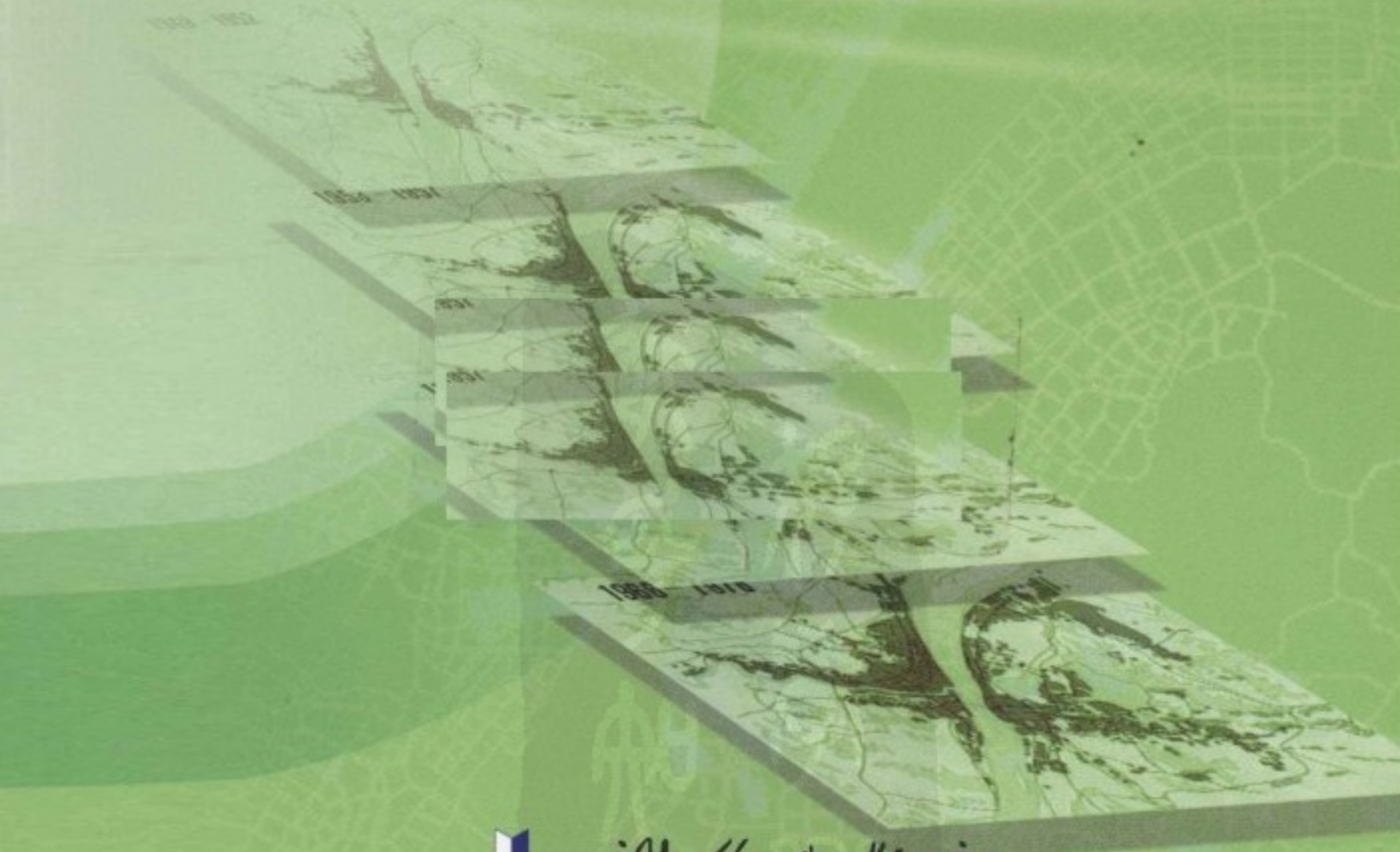
测绘科技专著出版基金资助
CEHUI KEJI ZHUANZHU CHUBAN JIJIN ZIZHU

Urban Spatial Growth Modeling Supported by GIS and Genetic Algorithms

GIS和遗传算法支持的城市空间生长建模

于卓　吴志华　著



测绘出版社



ISBN 978-7-5030-2115-2

定价：29.00元

测绘科技专著出版基金资助

GIS 和遗传算法支持的城市空间生长建模

Urban Spatial Growth Modeling Supported by GIS and Genetic Algorithms

于 卓 吴志华 著

测 绘 出 版 社

·北京·

© 于卓　吴志华　2010

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内 容 提 要

本书通过探索城市规划中新技术、新方法的应用,把空间分析方法和遗传算法结合起来,充分发挥数学模型及定量、定性分析方法的潜能,建立 UG-GA 模型辅助城市空间生长分析决策。

为了建立和实践 UG-GA 模型,除了前 4 章城市空间生长与城市规划关系、相关空间规划布局内容及新技术在城市规划中的应用等铺垫性论述外,本书主要进行了以下研究工作,包括遗传算法在城市空间生长中应用的适宜性分析、城市空间生长的机制和模式研究、UG-GA 模型实现框架确定、城市空间生长的空间作用力量化方法,以及遗传算法实现过程等,最后提出了模型可能的改善方法和发展方向。

本书是基于城市规划工作需求撰写的,适宜城市规划专业的师生参考,同时也适合正在进行城市规划学科发展新领域探讨的广大研究人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

GIS 和遗传算法支持的城市空间生长建模 / 于卓,吴志华著. —北京:测绘出版社,2010.8

ISBN 978-7-5030-2115-2

Ⅰ.①G… Ⅱ.①于… ②吴… Ⅲ.①地理信息系统—应用—城市规划—研究 ②遗传—算法—应用—城市规划—研究 Ⅳ.①TU984

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 156153 号

责任编辑	万茜婷	**封面设计**	李　伟
责任校对	董玉珍　李　艳		
出版发行	测绘出版社		
地　　址	北京市西城区三里河路 50 号	**电　　话**	010—68531160(营销) 010—68531609(门市)
邮政编码	100045		
电子信箱	smp@sinomaps.com	**网　　址**	www.sinomaps.com
印　　刷	北京金吉士印刷有限责任公司	**经　　销**	新华书店
成品规格	169mm×239mm		
印　　张	11.5	**字　　数**	220 千字
版　　次	2010 年 8 月第 1 版	**印　　次**	2010 年 8 月第 1 次印刷
印　　数	0001—1000	**定　　价**	29.00 元

书　　号 ISBN 978-7-5030-2115-2/P·483

本书如有印装质量问题,请与我社联系调换。

前　言

按照发达国家的先进经验，在城市规划编制过程中可运用的信息化技术手段十分丰富，如运用地理信息系统(GIS)技术分析社区人口组成、运用遥感(RS)技术分析地区贫困特点等。面对日益增长的城市规模及城市发展过程中出现的各种问题，运用信息化技术手段，挖掘城市发展过程中的潜在规律，是适应新时期城市发展的必然要求。随着各类数字技术在规划设计中被逐步应用，GIS 的空间分析比较、海量数据管理、规划分析模型等技术为规划编制全过程的信息化支撑提供了可靠的技术手段，越来越多的需求正在被实现。

城市规划作为一个学科，在 GIS、RS 及网络等各种新技术的支撑下，也正在逐渐形成自己的学科特色。由于这个学科具有很强的综合性，因此给了我们很大的探索余地。本书所提出的方法通过遗传算法拓展了原有的城市规划定量化分析方法，突破了城市影响因素静态式分析方式，是对一个动态的城市规划过程的量化表达和模拟。从模型的设计到定量化方法及与 GIS 结合方式上，本书都做了相关的说明。本书除了城市规划和 GIS 的基础理论论述，很多内容都是作者在参与具体实践工作中所积累的 GIS 应用于城市规划的经验和成果，是多年思考和研究的结果。其中，武汉大学城市设计学院的于卓副教授负责第一章、第四至八章的编写，并与为整个模型构架提供了大量支持的武汉市城市规划设计研究院高级规划师吴志华共同编写了第二章、第三章、第九章及第十章。

本书围绕城市空间生长模型构建进行论述，全书结构清晰、论点明确、内容丰富，既是新技术与新方法应用的探索，也是城市空间生长相关理论的研讨。本书适宜城市规划专业的本科学生阅读，更适宜正在进行城市规划领域新技术应用探讨的研究生阅读，同时也可为城市规划设计工作者提供一定参考。

本书的出版得到了很多人的支持。在此感谢李德仁院士在研究中给予的指导，以及武汉大学詹庆明教授和黄正东教授在书籍撰写过程中给予的帮助，同时感谢周围亲人和朋友的大力支持。

需要说明的是，由于作者精力有限，不能详细说明、解释不到位或者存在纰漏的地方在所难免，敬请读者批评指正。

目　录

第 1 章　城市与城市空间生长 …… 1
§1.1　城市的产生与发展 …… 1
§1.2　城市空间与城市空间生长 …… 8

第 2 章　城市空间生长与城市规划管理 …… 12
§2.1　城市空间生长过程的规划管理控制 …… 12
§2.2　城市空间生长规划布局的思想演进 …… 13
§2.3　城市规划思想的发展历程 …… 18
§2.4　城市规划思想的发展趋势 …… 23

第 3 章　GIS 及数学方法在城市规划中的应用 …… 26
§3.1　GIS 在城市规划中的应用 …… 26
§3.2　城市规划中的数学方法及其应用 …… 39
§3.3　研究背景 …… 42

第 4 章　城市空间生长原理及 UG-GA 模型建立基础 …… 44
§4.1　城市空间生长的基本认识 …… 44
§4.2　城市空间生长的内力和驱动力 …… 46
§4.3　城市空间生长机制 …… 48
§4.4　城市空间生长的主要方式和模式 …… 52
§4.5　遗传算法空间生长模型建立优势分析 …… 61

第 5 章　UG-GA 模型空间操作基础 …… 68
§5.1　空间数据结构与数据库模型基础 …… 68
§5.2　城市规划空间数据类型 …… 73
§5.3　城市演变和扩展的空间描述 …… 75
§5.4　空间数据挖掘、空间特征度量及 UG-GA 模型下的空间操作 …… 78

第 6 章　城市空间生长布局的多重依据 …… 85
§6.1　城市空间生长布局的自然条件约束 …… 85

§6.2 城市主要用地空间生长布局的规划理论支持…… 89
§6.3 法规与技术规范对城市空间生长布局的限定…… 96

第7章 UG-GA模型框架及构建机制 …… 101
§7.1 基础层用地单元划分方法 …… 101
§7.2 决定城市空间生长格局的因素分析 …… 104
§7.3 城市空间生长作用因子量算方法 …… 112
§7.4 城市空间生长建模机制 …… 124

第8章 UG-GA模型算法设计 …… 128
§8.1 UG-GA模型代码方式选择及初始种群设定 …… 128
§8.2 UG-GA模型适应度函数确定 …… 132
§8.3 UG-GA模型遗传算子选择 …… 135
§8.4 UG-GA模型遗传算法应用趋势及收敛性分析 …… 143

第9章 UG-GA模型实现 …… 146
§9.1 UG-GA模型实现的数据及功能支持 …… 146
§9.2 UG-GA模型实现过程 …… 151

第10章 基于UG-GA模型的城市空间生长分析——以武汉市为例 …… 157
§10.1 基于UG-GA模型的分析方法 …… 157
§10.2 武汉市城市空间生长模拟 …… 158
§10.3 结论 …… 169

参考文献 …… 171

CONTENTS

Chapter 1 City and Urban Spatial Growth ····· 1
§ 1.1 Generation and Development of City ····· 1
§ 1.2 Urban Space and Urban Spatial Growth ····· 8

Chapter 2 Urban Spatial Growth and Urban Planning and Management ····· 12
§ 2.1 Planning and Management Control on the Process of Urban Spatial Growth ····· 12
§ 2.2 Evolution of Urban Spatial Planning Thought ····· 13
§ 2.3 Development Course of Urban Planning Thought ····· 18
§ 2.4 Development Trend of Academic Thought about Urban Planning ····· 23

Chapter 3 Application of GIS and Mathematical Methods in Urban Planning ····· 26
§ 3.1 Application of GIS in Urban Planning ····· 26
§ 3.2 Mathematical Methods and Application in Urban Planning ····· 39
§ 3.3 Research Background ····· 42

Chapter 4 Principles of Urban Spatial Growth and the Basis of UG-GA Model ····· 44
§ 4.1 Basic Knowledge of Urban Spatial Growth ····· 44
§ 4.2 Internal Force and Driving Force of Urban Spatial Growth ····· 46
§ 4.3 Urban Spatial Growth Mechanism ····· 48
§ 4.4 Main Patterns and Modes of Urban Spatial Growth ····· 52
§ 4.5 Advantage Analysis of Genetic Algorithm in Spatial Growth Modeling ····· 61

Chapter 5 Spatial Operation Basis of UG-GA Model ····· 68
§ 5.1 Basic Knowledge of Spatial Data Structure and Database Model ····· 68
§ 5.2 Spatial Data Categories in Urban Planning ····· 73
§ 5.3 Spatial Description about Urban Evolution and Expansion ····· 75
§ 5.4 Spatial Data Mining, Spatial Feature Measurement and Spatial

Operations of UG-GA Model ····· 78

Chapter 6 Multiple Basis of Urban Spatial Growth and Layout ····· 85
§ 6.1 Natural Conditions of Urban Spatial Growth and Layout ····· 85
§ 6.2 Planning Theory of Urban Main Land's Spatial Growth and Layout ····· 89
§ 6.3 Legislation and Technical Regulations for Urban Spatial Growth and Layout ····· 96

Chapter 7 Framework and Constructive Mechanisms of UG-GA Model ····· 101
§ 7.1 Division Methods for Land Unit in the Base Layer ····· 101
§ 7.2 Determining Factor Analysis of Urban Spatial Growth Patterns ····· 104
§ 7.3 Measuring and Calculation Methods of Urban Spatial Growth Factors ····· 112
§ 7.4 Modeling Mechanism of Urban Spatial Growth ····· 124

Chapter 8 Genetic Algorithms Design in UG-GA Model ····· 128
§ 8.1 Code and Initial Cluster Determining in UG-GA Model ····· 128
§ 8.2 Fitness Function Design in UG-GA Model ····· 132
§ 8.3 Genetic Operator Selection in UG-GA Model ····· 135
§ 8.4 Application Trend and Convergence Analysis of Genetic Algorithm in UG-GA Model ····· 143

Chapter 9 UG-GA Model Implementation ····· 146
§ 9.1 Data and Function Support for UG-GA Model Implementation ····· 146
§ 9.2 UG-GA Model Implementation Process ····· 151

Chapter 10 Urban Spatial Growth Analysis Based on UG-GA Model: the Case in Wuhan ····· 157
§ 10.1 Analytic Methods Based on UG-GA Model ····· 157
§ 10.2 Urban Spatial Growth Simulation of Wuhan ····· 158
§ 10.3 Conclusion ····· 169

References ····· 171

第1章　城市与城市空间生长

§1.1　城市的产生与发展

1.1.1　城市的产生

城市是国家或一定区域的政治、经济、文化中心，城市在人类社会发展史中占据重要地位和作用，是人类科技与文明进步的主要载体。虽然现在的城市已发展得相当成熟，具有复杂的结构与功能，但是在城市产生之初，其规模、构成及职能都相对简单。其实“城市”二字本身就说明了其自身起源：“城”具有防御特征，说明城市一般是一个地方的行政管理中心，是外敌进攻和防御的对象；“市”是市场，说明城市是以非农产业和非农业人口聚集为主要特征的居民点，在这里人们不再从事农业活动，而以市场交易为主。

具体地说，城市是在一定的社会背景下产生并逐渐发展起来的。城市主要起源于原始社会进入奴隶社会期间。在原始社会发展的漫长岁月中，人类过着依附于自然物采集的经济生活，还没有形成固定的居民点。随着生产能力的提高，人类社会第一次劳动大分工，即畜牧部落从其他部落中分离出去，出现了以农业为主的固定居民点。人类社会第二次劳动大分工，即商业、手工业与农业的分工，居民点发生了分化，从而形成了以农业为主的乡村和以商业、手工业为主的城市，所以说城市是原始社会向奴隶社会发展过程中产生的，也是私有制社会的产物，并且最初的职能也相对简单。全世界上千个古代文明的地区，城市产生的时期有先有后，但几乎都在这个社会发展阶段之中，只是由于产生的历史时代不同、区位地点各异，世界各地的城市产生过程具有一定差异。

中国城市的概念出现于战国。《战国策》和《资治通鉴》中都有“城市邑”的称谓，我国古代的“城”与“市”就是两个不同的概念。“城”是指四周筑有围墙，用以防卫的军事据点；“市”则指交易市场，是商业和手工业的中心。市场对城市的真正形成无疑起着决定作用，只有城中有市时，城市才具备了基本功能，城市也才会成为真正意义上的城市。另外，随着农业、手工业和商业的发展，在一些交叉路口、水路码头、军事要塞或人口集中的地方也形成了城市（马正林，1998）。虽然，这些城市并不一定筑城，但它们都是在一些繁华的交通要塞或有众多人口定居的土地上聚集，它们就是中国城市最初的雏形。

在西方，一方面，有些原始城市是圣祠、泉水、村落、集市、堡垒等基本因素的复合体，这些复合体几乎都是由密闭的城墙严格封围着，主要用于军事上的防御，或者宗教上的范围标明(杨万钟，1999)。另一方面，西方学者也认为城市的产生和发展与“市”有关，城市是社会生产力发展到一定阶段的产物，与社会分工有着密切的联系(奥沙利文，2003)。公元前3000年左右，手工业与农业分工后，从事手工业生产的人们脱离了土地的束缚，寻求一些位置适中、交通方便、利于交换的地点集中定居，并以其手工产品与农牧民进行交换，从而在地域上出现了一种以产品交换为目的的新型居民点，且规模经济使大规模贸易和中心市场有了效率，逐渐促进了市场的发育和中心城市的发展。

1.1.2 城市发展与城市化

城市是人类生活的载体，并为人的不同活动提供各类适宜的场所。城市和人类一样，是伴随着人类文明进步、科技进步、生产力水平提高逐步发展到今天的。随着社会的发展进步，城市也在不断发展，这主要就体现在城市人口数量的增加及城市生活方式的扩散等，这就是所谓的城市化现象。

城市化是18世纪产业革命以后社会发展的世界性现象，也是人们用来描述和表达城市发展程度的重要概念。世界各国先后开始从以农业为主的乡村转向以工业和服务业为主的现代城市社会，表现为乡村人口向城市人口转化及城市不断发展和完善的过程，这是一个必然的历史过程，又称城镇化、都市化。城市化是人们对城市发展过程、发展方式的一种带有历史性的界定方式。通过城市化的定义，人们能更清楚地了解城市的发展水平、发展基础和发展表征。在发达国家中，80%左右的人口集中在城市。我国最近也提出了农村城镇化的倡议，城市化已经成为当前发展的大趋势。

对城市化这一概念，不同的学科站在本学科的角度有着侧重点不同的解释。人口学认为，城市化是指人口城市化，即农村人口逐渐转变为城市人口的现象和过程；英国人口学家威尔逊(C. Wilson)在其主编的《人口学辞典》中的解释是“人口城市化即指居住在城市地区的人口比重上升的现象”。从经济学的角度来看，城市生活方式是一种以非农业生产为基础的生活方式，人口向城市集中是为了满足第二产业和第三产业对劳动力的需要而出现的。因此，他们把城市化看成是由于产业结构调整和技术的进步，人们离开农业经济向非农业经济转移并产生空间集聚的过程。地理学认为，城市化是人口和经济活动的空间转移过程，是居民聚落和经济布局的空间区位再分配，这一过程包括在农业区甚至未开发区形成新的城市，以及已有城市向外围的扩展。社会学认为，城市化是一个城市生活方式的发展过程，它意味着人们不断地被吸引到城市中，并被纳入城市的生活组织中去(同济大学，1991)。各个学科从不同角度对城市化的概念进行描述，为探索城市发展的普遍规

律、研究城市发展机制奠定了理论基础。

1.1.3　城市发展的系统性认识

在城市发展过程中，政治、经济和文化的发展对城市发展起重要作用。政治的需要促进了新城的产生并加强了城市的功能，经济的繁荣带动了城市人口的增加并促进了城市规模的扩大，文化的发展提高了城市居民的精神、物质生活水准和质量。因此一般情况下，城市是区域内政治、经济和文化的中心，并代表着这一区域的政治、经济和文化发展水平。然而，从城市运转机理角度来看，城市是一个由众多要素构成的城市系统，是自然环境和人工环境相结合而成的。“系统”一词最早出现于古希腊语中，其原意是指事物中共性部分和每一部分应占据的位置，也就是部分组成整体的意思，一般系统论的创始人美籍奥地利理论生物学家贝塔朗菲(L. V. Bertalanffy)将系统定义为“相互作用的诸要素的综合体”。城市作为一个系统，表现出了其复杂、庞大，却相互关联、运行高效等特点，同时还具有聚集性、辐射性等其他诸多特征。我们认识城市，要从城市系统性的本质特征来认识，它主要体现在以下几个方面。

1. 复杂性

现代城市规模巨大，要素繁多，城市内众多要素相互联系和制约，纵横交错地交织在一起，使得城市内部产生大量错综复杂的社会经济关系。并且，城市的发展受到政治、经济、科技、文化、生态、环境等多种因素的制约，在发展过程中不断产生各种各样的城市问题，如在政治和经济的发展促进科技和文化进步的同时，又会面临生态环境和能源利用等新危机。由于城市的复杂性，很多城市问题也牵扯方方面面，不容易解决。

2. 多元性

由于城市是由复杂的物质要素组成的，城市在生产、生活、社会活动等方面都具有多元性，如城市具有生产贸易、运输、信息、政治、军事、科学、教育、文化、旅游和服务等多种功能，集中了工业、贸易业、金融业、运输业、信息业、旅游业、咨询业等多种产业机构。从生产和消费的角度来看，由于城市人口年龄、文化教育程度、个性与爱好等差异，城市消费必然呈现多元性，而为了满足不同层次的消费者需求，各个生产厂家不断地生产或调整产品结构，表现出生产方式和产品的多元性。因此，城市是个多功能的大系统，城市的各种功能相互联系、相互制约，形成了一个具有多元性城市功能的综合体。

3. 聚集性

城市的一个重要也是基本的特征是城市的聚集性。最基本表现是人口的聚集，即城市人口密度远大于乡村，是一个巨大的人口集团。同时，城市内生产力聚集，它是一个高度集中的社会经济综合体，是创造社会财富的中心。在城市范围

内，由于城市中生存和发展的各种要素的集聚，人们通过各种活动产生相互之间的联系，从而产生了强大的城市凝聚力。由于这种集聚，也带来了相应的效益和社会活动，甚至有人认为城市的本质就是人的聚集及其能够产生的集聚效益，并且这种群体的活动网络构成了城市的深层结构。

4. 高效性

在城市范围内，人们在活动过程中发生相互之间的联系，城市经济、社会、文化、科技、教育活动集中，综合功能发达，在城市这个综合体里集中了社会的生产、分配、交换、消费等一系列领域的经济活动，使城市日渐成为一种高度分工又密切协作的生产力系统。城市的聚集性加强了社会经济各部门之间、经济部门与非经济部门之间的联系，便于综合利用公共资源、能源和水资源，集中进行基础设施的建设和公共事业的发展，建立和完善生产性服务系统和生活性服务系统，使各种社会服务逐步达到高度社会化和专业化，从而产生极高的劳动生产率和经济效益。因此，城市的生产效率同分散的经济相比具有无可比拟的优越性。

5. 辐射性

城市系统具有开放性，城市作为区域经济活动中心，同外界每时每刻都在发生着错综复杂和千丝万缕的联系。城市内部资源流动，集聚了大量的社会经济资源，城市靠自身的经济实力和经济功能，依靠同外界的物质、能量和信息交换，发挥着辐射作用。城市经济发展到一定阶段必然会向外辐射其影响，这种辐射效应是集聚效应的反向作用，实际上是城市经济向外传播各种资源，进而带动该城区相邻地域范围的经济发展，发挥出城市经济中心作用的结果。城市经济运行过程中产生集与散、吞与吐、吸引与辐射的机制，就构成了城市经济多层次、多方位、多功能的开放系统(赵黎明，2002)。

6. 文化承载性

城市的产生和发展主要是基于经济的发展，但城市的本质和内涵并不仅局限于经济本身，城市的发展实际上也体现了人类文明的发展。城市的产生与发展，是人类文明进步的见证，一部城市史，也是一部人类文明进步史。美国著名的城市学家芒福德(L. Mumford)在他发表的论文《城市的形式与功能》中总结了对城市的认识，他认为城市的作用和贡献在于它能保存、流传和发展社会文化。列宁也曾说过："城市是经济、政治和人民的精神生活中心，是前进的主要动力。"

1.1.4 城市发展中的类别差异

探讨城市未来发展趋势往往会基于不同城市的不同特征进行，不同类别的城市，未来的发展状况，包括城市规模、结构或空间形态都会有所差异。因此，对不同类别城市特征的认识，能让我们更深入地了解城市，而且能更好地把握不同城市未来不同的发展趋势。而关于城市种类的划分，不同学派有自身的划分途径和理论

依据，因目的、要求的不同而有所区别，如城市能级分类的一个标准是人口规模，而根据城市职能进行的分类最能揭示城市的基本特点，因此受到更为广泛的重视。

1. 城市规模分类

城市规模分类主要以人口数量为标准，是识别城市的一种重要标志。城市经济学对城市作了不同能级的分类，如小城市、中等城市、大城市、国际化大都市、世界城市等。为了反映一个区域或国家大城市少、小城市多的一般规律，通常以等比办法对城市进行分级，把人口规模偏小的城市级别分得更细。各国城市人口规模分类并不一致，按照本国特点和规划等方面要求，采用不同的划分办法和分级名称。中国根据市区非农业人口的数量把城市分为 4 等：人口少于 20 万的为小城市，20 万～50 万人口的为中等城市，50 万人口以上的为大城市，其中又把人口达 100 万以上的大城市称为特大型城市。同时，城市规模大小也体现在行政等级上，即按行政概念的分类也在一定程度上反映了城市规模的不同，在我国主要包括按国家行政建制设立直辖市、市和建制镇等。

2. 体现城市性质的职能分类

城市系统结构的复杂性也决定着城市系统功能的多样性。城市职能分类始于 20 世纪 20 年代，1921 年，美国的奥鲁索(M. Aurousseau)把城市分为行政城市、军事防御性城市、文化城市、生产城市、交通运输城市、游览疗养城市等。根据城市职能差异对城市进行的分类，反映出了城市之间社会经济地位、产业结构、地理位置及建立年限等许多方面的差异，如经济中心城市、政治中心城市、文化中心城市、港口城市和交通枢纽城市等类型。城市虽然具有多种职能类型，但总以某一两种职能为主。

1)行政城市

这类城市主要是由于城市的统治者出于治邦的考虑，选址在一些区域的中心位置，随后这类城市就成了国家的都城，如中国唐代的长安、北宋的开封、明清两朝的北京、古希腊的雅典、奥地利的维也纳等。

2)军事防御性城市

这类城市是由于战争的因素，需要从军事上重点发展一些城邦，鼓励这些城邦增加居民点，这些城市一般都居于重要军事位置，如中国汉代的徐州、北魏时的洛阳，德意志的纽伦堡、汉堡，古罗马时期的罗马城等。这类城市又可以分为要塞型和城堡型，这在西欧城市中比较典型，中国古代城堡型军事防御性城市主要是北方沿长城所建的一些边塞城市。随着近代城市的发展，军事防御性城市的地位已显得不那么重要了。

3)文化城市

文化城市指以文化功能为主的城市。但文化机构不能独立于政治、经济之外，必须依附于政治和经济，在地域分布上，不是位于政治中心，就是建于经济中心

之内。

4)工业城市

近代工业出现后,又出现了比较典型的工业城市,这些城市主要居于交通比较发达、靠近工业原料和市场的地方,如中国的上海、天津、长春、太原,英国的曼彻斯特、伦敦,以及意大利的米兰和美国的芝加哥、底特律等。

5)港口贸易性城市

这类城市主要承担海外通商和交通转运的功能,拥有良好的港口和便捷的出海通道,一般位于海滨,尤其是海滨和内河的交汇处,如中国的青岛、厦门、泉州,欧洲的鹿特丹、威尼斯、哥本哈根,北美的旧金山、西雅图、温哥华等(徐康宁,2003)。

6)旅游城市

旅游城市是指具备独特的自然风光或者人文资源等独特资源,能够吸引旅游者前往,具备一定旅游接待能力的城市。旅游城市的旅游资源就是城市的产品,当旅游城市品牌化之后,城市的形象更加生动、具体.形象,城市旅游品牌创造让城市的文化精神和自然美互相交融,使旅游城市具有更强的竞争力和生命力。

7)资源型城市

资源型城市是指伴随着矿业和森林等资源的开发而兴起并以资源开采为主导产业的城市。这些城市作为中国的能源基地和原材料供应基地,为我国的国民经济发展作出了重要的贡献,如大庆、盘锦、阜新、攀枝花、大同、抚顺、本溪等,但资源型城市的产业结构呈现出强烈的资源依赖性和单一性,发展到一定阶段可能会陷入矿竭城衰的困境,影响地区经济的可持续发展。

1.1.5 现代城市化发展特征

随着世界各国工业化和商业经济迅速发展,相应的城市化速度也日益加快。一方面,世界人口向大城市涌流的势头十分猛烈,已达到失控的程度,产生了一系列严重的城市问题,如城市住房紧张、交通拥塞、环境恶化、失业人口增长;各国都试图通过颁布法律来控制人口向城市聚集,但均未奏效。另一方面,一些西方发达国家,在交通、通信手段现代化的基础上,城市人口出现了离心流动,即郊区化现象。这时的人口与经济活动的分布渐渐突破了城区界限,向周围的郊区发展,出现了以中心城市为核心,连同其他毗邻的内地、腹地,形成统一的大城市地区,即从人口集中在各个城市"点"的形式发展到城镇群体,这是城市化发展新阶段的表现之一,具体体现在以下几个方面。

1. 大城市、超大城市的出现

大城市在工业化过程中具有绝对的优势,一般来说,随着城市规模的扩大、城市的各项经济效益也不断提高。从经济学的角度看,大城市的经济发展史更长,经济结构更完善,市场发育更成熟,技术力量更雄厚,因此它们的聚集效益、规模效

益、优化效益和外部效益比中小城市更加显著，而且这些效益随着规模的扩大而递增，这样就导致了各种要素和人群向大城市聚集。2000 年，全世界人口超过 200 万的大城市已有 325 个，超过 1 000 万人口的超大城市有北京、东京、墨西哥城等 20 个，预计到 2015 年，全世界将有 358 个超百万人口的大城市和 27 个超千万人口的特大城市。而现在的中国，50 万人口以上的城市星罗棋布，不胜枚举，100 万人口以上的城市也不鲜见(1999 年底统计为 34 个)，上海和北京更已成为人口超过 1 000 万的国际大都会。我国城市规划及建筑学家吴良镛院士认为，居住在大城市中的人口增多，大城市发展速度加快，这是城市化的一个特点。

2. 城市群的出现

城市的经济功能已不再是在一个孤立的城市体现，而是由一个作为核心的中心城市和与其保持着密切经济联系的一系列中小城市共同组成的城市群来体现。城市带，又称城市群，指在特定地域范围内具有相当数量的不同性质、类型和等级规模的城市，依托一定的自然环境条件，以一个或两个超大或特大城市作为地区经济的核心，借助现代化的交通工具和综合运输网及高度发达的信息网络，发展城市之间的联系，共同构成的一个相对完整的城市“集合体”。

以美国东北部大西洋沿岸城市群为例，它以纽约为中心、北起波士顿，南到华盛顿，在长 970 km、宽 48～160 km、面积 139 000 km^2 的范围内，由 5 个大城市、上百个中小城市组成，1970 年人口达到 4 200 万，占全国总人口的 20%，被称为“波士华”城市带。其他世界著名的城市群还有北美五大湖城市群，日本太平洋沿岸城市群(也称为东海道城市群)，欧洲西北部城市群，英国以伦敦为核心的城市群等。这样的城市带或城市群，在发展中国家也开始出现，如我国以上海为中心的长江三角洲城市群、京津唐城市群、辽宁中部城市群、珠江三角洲城市群等。

据了解，20 世纪下半叶，美国 GDP 的主要贡献出自大纽约区、大芝加哥(五大湖)区和洛杉矶区，这三大组团式城市群对美国的经济整体贡献率为 67%；而日本 GDP 则主要产出于大东京区、坂神区、名古屋区，这三大组团式城市群对日本的经济整体贡献率超过 70%。就中国而言，主要城市群包括珠江三角洲、长江三角洲、京津唐环渤海湾地区。其中，珠江三角洲的 GDP 目前约占全国的 10%，长江三角洲的 GDP 约占全国的 18%，京津唐环渤海湾地区约占全国的 7%，这三大组团式城市群对中国的经济整体贡献率也达到 35%。

3. 小城镇的发展与农业现代化

在我国，农业、农村、农民的“三农”问题，一直是困扰经济发展、社会公平、实现现代化的核心问题之一。“三农”问题的解决，其根本出路在于减少农民的数量，实现农村富余劳动力向城镇转移。据专家估计，按照现有的生产水平，我国目前农村的富余劳动力约有 2.5 亿人，业内专家认为，当农村人口数量下降到总人口的 25%以下时，农村土地的价值才能达到市场化的要求。而大量吸纳农村剩余劳动

力，只有靠实现城镇化战略、提高人口的素质和技能、创造就业机会才能够最终完成。农村城镇化是农业现代化的必然要求和重要标志，城镇化程度可以加速农业经济结构和产业结构的调整，为农业规模经营和集约经营创造条件。2000年7月，中共中央、国务院出台的《关于促进小城镇健康发展的若干意见》指出，抓住机遇，适时引导小城镇健康发展，应当作为当前和今后较长时期农村改革与发展的一项重要任务。协调发展、稳定推进小城镇，还能够避免大城市的过度膨胀，同时使许多农民在逐步发展起来的小城镇中完成向城市文明的过渡。

城市发展代表了社会进步与繁荣，满足了人民日益增长的物质、文化需求，但却从自然和生态角度对土地进行了不同程度的践踏和污染。现代城市的发展与延续，不断面临新的挑战，需要解决许多层出不穷的问题。用科学的方法来分析城市中存在的问题，促进城市的发展和进步，是人类社会政治、经济和文化发展的必然需求。

§1.2 城市空间与城市空间生长

1.2.1 城市空间构成

城市是以空间与环境利用为基础，以经济聚集效益为特点，以人类社会进步为目的的一个集约人口、集约经济、集约科学文化的空间地域系统。社会经济的发展是通过人类的活动实现的，而人类的活动要求有一定的空间支持。德国地理学家克里斯塔勒(W. Christaller)有句名言："城市是在空间上的结构，是人类社会经济活动在空间的投影。城市作为一定的地域范畴，为人们提供了活动空间的基本条件。同时也需要城市政府及其他市场主体从城市的空间功能出发，合理安排与之相适应的各种社会经济活动。"

人和城市都是在土地这个巨大容器的包容和承载之上生存和建立的。在城市空间构成上，主要包括两个层次的内容：第一个层次是指城市的地理层，主要包括地理位置、地质、地貌、地理、气象、水文、动植物、自然资源等；第二个层次是以第一个层次为载体和环境的社会活动层，主要包括城市的物质基础和社会经济环境。物质基础主要是指城市的基础设施，包括城市的建筑、交通、能源、通信、供水及生态环境保护设施等因素；社会经济环境主要包括城市的社会、经济、政治、文化、科学、技术、民族、历史、人口、观念和道德因素等。两个层次相互制约、相互影响，共同协调形成城市系统。

1.2.2 城市空间生长与变化

城市发展是人类文明史的重要组成部分，最早的城市是人类劳动大分工的产

物。根据考古发现，人类历史上最早的城市出现在公元前 3000 年左右，在 5 000 多年的文明史中，人类社会经历了漫长的农业经济时代，工业经济时代只有 300 年的历史。在农业社会历史中，尽管出现过规模相当可观的城市，但农业社会的生产力十分低下，全社会的绝大部分人必须从事农业生产，因此这种对于农业的依赖决定了农业社会的城市数量和规模都是极其有限的，城市发展是非常缓慢的。从 18 世纪开始，工业化的出现带来生产力的空前提高，人类经历了从农业经济向工业经济和从封建社会向资本主义社会的演进过程。人类聚居强度受内力、外力的作用不断加强，城市得到空前发展，不仅促进了既有城市的扩展，而且导致了新兴城市的形成，城市逐渐成为人类社会的主要聚落形式。

城市是一个不断发展的实体，它从无到有，从小到大，体现在城市空间上，也是地域的逐渐扩张。广义的城市空间生长表现在两方面：一是城市空间扩展，二是城市空间重组或调整。一般在城市空间向外扩展的同时，城市核心区也在进行内部空间重组或调整，如加强旧城更新与改造、迁出污染扰民企业、大力加强中央商务区(CBD)建设等(阳建强 等，1999)。广义的城市空间生长是蕴涵城市空间调整、重组的城市化过程；狭义的城市空间生长则只针对城市新建设区域选择及空间利用方式的确定，它可以说是城市化过程把城市非建成区逐渐转变为城市建成区的具体表现。至今为止，对于城市水平还不是很高的发展中国家，城市规模的扩大仍是未来社会发展的一个重要内容，其中城市空间生长是一个重要表现。城市空间生长的根本动力来源于对外服务的基本产业的发展，其空间发展形态则受城市自然条件、社会环境、政策导向及具有异质性个体的生态竞争等因素影响。如何把城市空间和其所容纳着的城市物理实体和社会经济要素结合起来，分析城市的空间演变，认识城市空间生长规律，对城市用地的合理配置和城市建设具有重要意义。

1.2.3　不同时期城市空间生长特征

1. 古代城市地域的固化

古代城市人口增长缓慢，直到 1800 年，世界城市人口占总人口的比重仅为 3%左右。明确地说，自城市产生至 18 世纪中叶的工业革命前，自给自足的自然经济占有统治地位。这一时期城市的功能主要是军事据点、政治和宗教中心，经济功能极其薄弱，农业和手工业是国民经济的主体，商品经济极不发达，城市在社会经济生活中的功能和作用很小，对周围地区影响不大，还不具备地区经济中心的作用。因此，这个阶段的城市发展经历时间最长，但发展最慢。

中国奴隶社会的城市是在奴隶主的封地中心——邑(农业居民点)的基础上发展起来的。这些城市按照奴隶社会的等级制度来限制其规模大小，商周时期，城意味着国家，受封的诸侯国有权按爵位等级建造相应规模的城，帝王都城“方九里”，诸侯都城分别“方七里”及“方五里”。秦统一全国后，取消分封诸侯的制度，实行中

央集权的郡县制，城市成为中央、府、县的统治机构所在地。虽然随着生产力的进一步发展，城市数量增加了，城市人口也增加了，如我国唐长安城南北长 8.5 km，东西宽 9.7 km，加上后建的大明宫，面积超过 84 km^2，可以说是当时世界上最大的城市之一，但这些大城市基本被城墙包围，其地域范围也相对固定。同样，欧洲产业革命前的城市，除罗马等少数城市外，一般规模较小，多数城市是自然形成的，城市功能和基础设施都比较简单，一般以教堂或市政机构占据中心位置，城市道路以此为中心呈放射状；同样，城市形态上最明显的特征就是四周设有坚固的城墙或城壕，城市规划多侧重于防御功能和政治需要，封闭性强，因此，城市地域规模和人口规模变化也不大。

2. 近代城市空间发展局限的打破

18 世纪中叶西欧发生了工业革命，极大地促进了社会生产力发展，也使城市进入了一个崭新的阶段。工业化是城市发展的根本动力，工业革命结束了手工业的生产方式，代之以大机器生产，从而推动了生产专业化和地域分工，加速了商品经济的发展。产业革命导致了世界范围的城市化，大工业的建立和农村人口向城市集中促使城市规模扩大，与此相适应，工商业集中的城市，科学技术、文化教育、交通、通信等基础设施及各种服务行业，也都得到相应的发展。这一过程引起了大量农村人口向城市地区集聚，打破原有城市地域界限，不仅城市规模大幅增加，城市数量也急剧增加，城市人口比例迅速上升。

从 18 世纪中叶到 20 世纪中叶，城市的发展远远超过以往几千年，工业革命使近代城市发生了质的变化。与古代城市相比，近代城市发展加速，城市规模越来越大。至 1890 年，全世界城市人口占总人口的比重上升到 13.5%，1950 年达 28.7%，10 万人以上的城市数目由原来 8 座增加到 484 座，其中百万人口以上的大城市就有 71 座。城市成为整个国民经济和地区经济的中心，对国家和地区经济产生了很大影响。铁路运输促进了内陆地区的城市发展，在一些资源分布地区出现了工矿城市，改变了古代城市分布十分局限的空间格局。但由于世界各地工业化进程存在差异，城市分布的地区差异也十分显著，如发展中国家和地区的城市发展缓慢，城市数量少、规模小，少数规模较大的城市主要分布于沿海地区。

3. 现代城市空间的进一步扩张

20 世纪中叶以来，西欧大多数经济发达国家已经进入了工业化的后期，许多发展中国家也相继进入工业化发展阶段，世界上的城市进入了现代化的发展阶段。第二次世界大战以后，世界范围内的政治、经济和技术领域都发生了深刻的变化，一些长期受帝国主义控制的殖民地和半殖民地国家纷纷摆脱了殖民统治相继独立，发展中国家的政治地位不断提高，社会主义国家经过短期的经济恢复后，开始了大规模的工业化建设。西欧许多发达国家医治战争的创伤，掀起了整修和重建城市的浪潮，使城市开发向深度和广度进一步发展。同时，科学技术开始发生革

命，以微电子技术为主导的新技术革命，促进了全球范围的经济结构、产业结构和就业结构的变化，现代工业向城市集中，城市经济发展达到了新水平，社会产品空前丰富。

这一切，都大大加快了世界城市的发展进程，城市规模日益扩大，城市功能也日趋复杂多样，使城市的发展进入了一个新的历史阶段。大城市以其特有的空间优势和集聚效益吸引着工业人口，大城市规模继续扩张，数目增多，出现了地域上连片的大城市群或大城市带。1950—1980 年，世界百万人口以上的大城市由 71 座增加到 234 座，在短短的 30 年中，增加了 2 倍以上，并且出现了如墨西哥、圣保罗、纽约、东京、伦敦、上海等千万人口的特大城市。1950—1970 年的 20 年中，世界城市人口总数从 7.06 亿增加到近 14 亿，城市人口占总人口的比重，由 1950 年的 28.7%提高到 1970 年的 38.6%，1980 年又上升到 41%，即在仅占全球土地面积 0.3%的城市面积上，居住着 41%的世界人口。在世界城市发展进程加快的过程中，发展中国家或地区的城市发展尤为迅速。据统计，在 1950—1980 年的 30 年间，世界城市人口增加了 2.5 倍，其中发展中国家增加了 3.6 倍，城市人口年递增率为 4.2%，大大超过发达国家 1.9%的增长速度。

第2章　城市空间生长与城市规划管理

§2.1　城市空间生长过程的规划管理控制

2.1.1　城市规划与城市空间布局

“城市规划”是对一定时期内城市的经济和社会发展、土地利用、空间布局及各项建设的综合部署、具体安排和实施管理，它是一门自古就有的学问。从学科上讲，城市规划是一门综合性学科，它涉及社会学、建筑学、地理学、经济学、工程学、环境科学、美学等多种学科；从行政上讲，城市规划是政府的一项重要职能和重要工作，是城市建设和发展的“龙头”，是引导和控制整个城市建设和发展的基本依据和手段。

城市规划是对城市空间发展的预先考虑，主要涉及城市中产业的区域布局、建筑物的区域布局、道路及运输设施的设置、城市工程的安排等。在城市规划中，城市用地空间布局是核心内容，城市规划的基本任务就是根据一定时期经济社会发展的目标和要求，确定城市性质、规模和发展方向，统筹安排各类用地和空间资源，综合部署各项建设，以实现经济和社会的可持续发展。城市规划中的各项工作，如城市性质或城市规模的确定及城市生态、交通等研究工作最终要服务于城市各项要素的空间落实，并通过城市用地空间布局体现出其主导思想及研究成果。

2.1.2　城市空间生长中的空间布局要求

城市空间布局形态的演变是城市内部包括地理、历史、社会、经济、政治、文化、自然生态等诸多因素、诸多矛盾关系交互作用发展变化的外在表现。随着城市的不断发展，社会经济形势的不断变化，城市空间也在不断变化，为了保证城市空间向合理的方向发展，城市规划工作就要进行相应的修改和调整，指导城市空间合理布局，顺应时代发展。这就说明，城市空间在扩展过程中必须遵循一定的原理或原则，无论是个体发展，还是与其他用地的关系，在用地的选择上都不是盲目的，也就是要顺应一定的城市空间布局要求；而城市空间布局要求也是基于城市规划理论的长期发展获得的，城市规划理论的发展支持城市用地空间布局的优化，进而做出更好的城市规划方案；这是一个良性循环过程，也是城市空间生长的必然要求，是有利于城市发展的。因此，人们常会依据空间布局要求进行预先的城市空间生长

规划，以保证在城市空间生长过程中，虽然在原有的城市空间上融合了新的空间元素，但仍能保证城市空间布局形态或格局的合理性。

2.1.3　城市空间生长过程的规划控制与管理

城市规划管理是伴随着城市规划的编制、审批、实施的全过程而诞生、存在和延续的。城市规划一出现就具有管理的因素，城市规划是城市建设管理的基本前提和依据，城市规划管理是实施城市规划的保证手段，是城市规划的具体化。城市空间生长过程中，必然涉及城市用地的开发，而中国人口众多，资源不足，土地资源尤为紧缺，在城市用地开发中，最怕用地的无序使用和浪费，这些需要整体宏观的管理与控制，也就是通过城市规划的制定控制城市生长用地的使用。同时要求在城市规划中，必须十分珍惜和合理利用土地，合理确定城市用地规模和布局，优化用地结构，并严格执行国家用地标准。

城市的发展是人类居住环境不断演变的过程，也是人类自觉和不自觉地对居住环境进行规划安排的过程。从我国陕西省西安市临潼区北的新石器时代聚落姜寨遗址就可以看出，在我国古代，我们的先人就在村寨选址、土地利用、建筑布局和朝向安排、公共空间的开辟及防御设施的营建等方面运用原始的技术条件，巧妙经营，建成了适合当时社会结构的居住环境。可以认为，这是居住环境规划的萌芽。而随着经济社会发展，当前，城市规模更大，城市要素更多，要素之间关系更复杂，并且城市空间生长更迅速，这时如果没有前期的整体规划控制，个体的自由发展会具有盲目性，而通过城市空间生长过程中的城市规划的管理和控制，将能构建更协调的城市关系。

§2.2　城市空间生长规划布局的思想演进

由于城市空间布局要求基于城市规划理论的长期发展而获得，城市规划理论的发展将为城市用地空间布局提供强有力的理论支持。而在漫长的人类社会发展过程中，随着社会经济及科学技术的逐渐发展，城市规划思想也随着城市结构和规模的变化不断改变和进化，同时也为城市空间生长过程中的空间布局要求提供更多的支持。

2.2.1　古代城市规划布局要点

1. 我国古代城市规划布局要点

东周的春秋战国时期是从奴隶制向封建制过渡的时期，也是中国古代社会及文明发展十分重要的时期。各种学术思想如儒家、道家、法家等都是在这个时期形成并传承后世的。中国古代的城市规划学说散见于《周礼·考工记》、《商君书》、

《管子》、《墨子》等典籍之中。学术思想的活跃、战争的频繁及筑城与攻守技术的发展，推动了当时城市建设的高潮。因此，东周是我国古代城市规划思想的多元化时代。既有一脉相承的儒家思想，即维护传统的社会等级和宗教礼法，表现为城市形制的王权至上理念，如《周礼·考工记》确定了“都”、“王城”和“诸侯城”的三级城邑制度及用地的功能分区和道路系统等，又如《商君书》论述了某一地域内山陵丘谷、都邑道路和农田土地分配的适当比例，以及建城、备战、人口、粮食、土地等相应条件，强调严格的等级观念等；也有以管子为代表的变革思想，在城市建设上提出：“高勿近阜而水用足，低勿近水而沟防省”，强调“因天材，就地利，故城郭不必中规矩，道路不必中准绳”的自然至上理念，从思想上打破了《周礼》单一模式的束缚。与此同时，以管子和老子为代表的自然观对中国古代城市形制的影响也是长期存在的，许多古代城市格局表现出利用自然而不完全循规蹈矩的特点。特别是宋代以后，随着商品经济的发展，一些位于通航交会处、水旱路交通交会点的城市的布局开始冲破礼制约束，如汴梁（开封）、临安（杭州）等，这些对我国后期城市建设都有极其重要的影响。

这些城市规划思想和中国古代各个历史时期城市规划的成就，集中体现在作为“四方之极”、“首善之区”的都城建设上。长安城的建设成就是唐代灿烂文化的重要组成部分，影响波及日本、朝鲜等国的都城建设。宋开封城在中国都城建设史上的重要性在于，它是按照五代周世宗柴荣颁发的诏书，有规划地进行扩建的要例。后来，商品经济的发展使延绵千年的城市里坊制逐渐废弛。北宋中叶，开封城走向较为开放的街巷制体系，形成了中国封建社会后期的城市结构形态。元大都的规划汲取了春秋战国时期理想都城的规划思想，而由元大都演变而成的明北京城，又作了因地制宜的处理，集中国古代都城城市规划之大成，是中国封建时代都城规划和建设的最辉煌实例。这些宏伟壮丽的伟大城市，集中表现了古代经济、文化、科学、技术等多方面的成就，在城市选址、城市供排水、城市交通、防火、城市绿化和风景区、城市规划等方面，都有过卓越的成就和经验，主要体现在以下几个方面。

1）基本的城市用地选择要求

中国古代城市选址原则可以概括为以下几个方面：选择适中的地理位置，即择中原则；考虑可持续发展的因素，即“度地卜食，体国经野”的原则；考虑自然景观及生态因素，提出“国必依山川”的原则；考虑设险防卫的需要；考虑水源及交通问题，往往选择水陆交通要冲。

2）都城空间格局

中国古代有两种城市形式：一种为方格网式规则布局，多为新建城市，受礼制思想影响，《周礼·考工记》中所述实例较多，如北魏、隋、唐的洛阳，隋、唐的长安，元大都与明、清的北京；另一种为较为自由的不规则布局，多为地形复杂或由旧城

改建的城市，受地形或现状影响较大，即所谓“凡立国都，因天材，穷地利。故城郭不必中规矩，道路不必中准绳”，如汉朝的长安、南朝的建康等。

3）城郭之制下的都城空间组织

《周礼·考工记》中记载：“匠人营国，方九里，旁三门，国中九经九纬，经涂九轨，左祖右社，面朝后市，市朝一夫”，这就是那个时代城市布局的大致情形，如周代王城（如图 2-1 所示）。这种所谓棋盘式的规划模式对以后历代的都城布局有很大的影响。

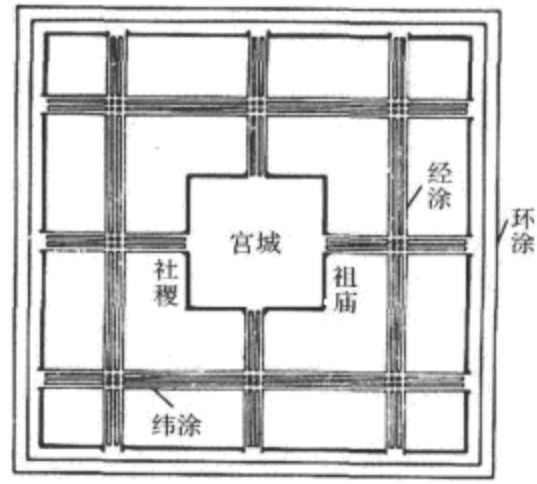


图 2-1　周王城复原想象图

从春秋一直到明清，除秦始皇的咸阳外，其他各朝的都城都有城郭之制。城郭之制即“筑城以卫君，造郭以守民”，“内之为城，外之为郭”的城市建设制度。一般京城有三道城墙：宫城（大内、紫禁城）、皇城或内城、外城（郭）；府城有两道城墙：子城、罗城。水乡城市依靠河道运输，均设水城门。此外，为防御侵袭，有些城市还设有“瓮城”、“马面”、城垛、战棚、城楼等设施。明北京城是在元大都的基础上建造的，城市由三组城墙组成：中心为封建统治的代表——皇帝居住的紫禁城；它外面是皇城，居住着内府的官员和贵族；外城为一般市民居住。北京不但在平面布局上表现了古代都城的规划制度，在总体的艺术布局方面也总结了我国古代都城的布局手法，其长达 8 km 的中轴线，由城门、干道、不同体型大小的广场、建筑群、制高点组织起来，突出皇帝的至高无上。

4）道路系统建设

中国古代城市绝大多数采取以南北向为主的方格网布置，这是由建筑物的南向布置延伸出来的。为适应各地不同的条件，在具体处理上也是因地制宜的，在地形完整的新建城市中，采用方整的道路布置方式；而在有山川河流或改建城市中，则其道路根据地形变通，不拘于等级礼制所要求的一般设计形式。

5）居住区与商业市场形式

为加强对城内居民的控制，宋以前各朝均实行里坊制度，即把城内居住区分为许多里坊，内有街巷，四周用高墙围起，设里正、里卒把守，早启晚毕；北宋后由于城市发展而取消，代之以商业街和街巷的布置形式，并用“厢坊”或“保甲”等组织手段来控制城市居民。就商业市场的存在，唐以前城内的市场集中在某几个里坊内，设有市楼或市署，由市令管理，和里坊一样按时启闭，在居民的里坊里有少量零星分布的小商店，

在城外、郊野可自由设市，称为“草市”。北宋以后，随着商业的发展，基本废除了击鼓而集的里坊式市场，形成了开放的商业街及集中于庙宇内的市场贸易。

6）钟楼与鼓楼的建设

南北朝以后，都城及州县城设鼓楼供报时或报警之用。宋东京城市发展很快，房屋密集，接栋连檐，常有火烛之灾，所以设立了消防队，城内每隔一里设负责夜间巡逻的军巡捕，并在地势高处砖砌望火楼瞭望，从元大都开始，在城市居中地区建造高大的钟楼与鼓楼。

2. 西方古代城市规划布局主要思想

在西方，古希腊城邦时期已出现了希波丹姆规划模式，即著名的古希腊建筑师希波丹姆（Hippodamus）提出的城市建设模式，这种模式以方格网的道路系统为骨架，以城市广场为中心，充分体现了民主和平等的城邦精神。该模式在其规划的米列都（Milet）城中得到完整的体现：城市结合地形呈不规则的形状，棋盘式的道路网，城市中心由一个广场及一些公共建筑物组成，主要供市民们集合和商业用，广场周围有柱廊，供休息和交易用。而古罗马时代是西方奴隶制发展的繁荣阶段。公元前300年，罗马几乎征服了全部地中海地区，他们在被征服的地方建造了大量的营寨城。营寨城有一定的规划模式：平面呈方形或长方形，中间十字形街道，交点附近为露天剧场或斗兽场与官邸建筑群形成的中心广场。随着国势强盛、领土扩大和财富的敛集，城市得到了大规模发展。除了道路、桥梁、城墙和输水道等城市设施以外，还大量地建造公共浴池、斗兽场和宫殿等供奴隶主享乐的设施。到了罗马帝国时期，城市建设更进入了鼎盛时期。除了继续建造公共浴池、斗兽场和宫殿外，城市还成为帝王宣扬功绩的工具，广场、铜像、凯旋门和记功柱成为城市空间的核心和焦点。在城市建设过程中，城市规划和建筑师们总结了大量城市开发建设方面的方法和经验，建筑师维特鲁威（M. Vitruvius）就在他的《建筑十书》中阐述了城市选址、环境卫生、房屋建设、公共建筑布局等方面的基本原则，并提出了当时的理想城市模式。

2.2.2 现代城市规划布局要点

城市总体布局的核心是城市用地功能组织，它是研究城市各项主要用地之间的内在联系，根据城市的性质和规模，在分析城市用地和建设条件的基础上，将城市各组成部分按其不同功能要求有机地组合起来，使城市有一个科学、合理的用地布局。现代城市地域结构日趋复杂化，出现了较为明显的功能分区，如工业区、商业区、居民区及仓库码头区等，城市规划思想也随着社会经济的发展不断深化，主要体现在以下几个方面。

1. 城市空间布局强调协调性

城市总体布局是城市的社会、经济、环境及工程技术和建筑空间组合的综合反

映，和谐的城市空间模式，会使城市空间资源得到有效利用和使城市各项功能高效运转。当前的城市空间布局强调要处理好工业区与市中心区、居住区、水陆交通设施等的关系，要合理划分功能分区，使功能明确，面积适当，避免将不同功能用地混淆在一起，造成相互干扰。而旧区的各项功能往往混杂在一起，要根据实际情况，在符合消防、卫生等情况下可设置综合区，不要片面追求单纯的功能分区。

2. 城市交通建设注重系统性

产业革命后，城市的规模越来越大，城市交通问题成为城市发展中最大的难题之一。交通技术的进步同旧的城市结构的矛盾日益明显，人们对交通的认识，也从认识它的单纯运输功能，进而认识到它对空间组织的意义和空间联系作用。城市交通规划与城市结构和城市其他规划问题息息相关，已成为城市规划的一项基本内容。对城市交通的研究也发展到注重城市环境、合理利用城市用地的基于多种要求的交通系统论述。此外，学者们还提出了树枝状道路系统、等级体系道路系统等多种城市交通网络系统模式，构成多层次、多功能道路网，并与对外交通方便地衔接。

3. 增加区域统筹规划

城市的发展和城市问题的日益严重使人们逐渐认识到不能仅就城市论城市，必须从更大的范围——区域的、甚至国土的范围来研究与城市有关的问题。区域规划是把城市作为一个点，而其所在的地区或更大的范围作为一个面，点面结合，城乡统一安排，分析研究城市在地区国民经济发展中的地位和作用(霍尔，1985)。这样，城市与农村、工业与农业、市区与郊区才能统一考虑，全面安排。

4. 重视城市历史保护和地方文化的延续性

历史纪念物不仅是一个国家、一个民族的文化瑰宝，也是全人类共同的文化财富。1933 年，《雅典宪章》较早地从城市规划角度提出保护古建筑问题，由于这些工作的开展，人们深刻地认识到旧建筑、旧居住区在实用、经济和艺术方面的长远价值，开始以新的观点研究旧城、旧区、旧建筑的改造问题。通过全面调查、精心规划，把旧城、旧区、旧建筑合理地利用起来，使之既适应新的需要，又能保持城市的文化特性和地方文化的延续性，从而使城市规划的观念和程序也发生相应的改变。

5. 加强城市园林绿地系统的生态建设

城市的急剧发展，人工建筑对自然环境的破坏，促使人们日益重视保持自然和人工环境的平衡及城市和乡村协调发展的问题。“大地景观”的概念开始引起人们的注意。有的城市规划学者对此作了系统的阐述，引申出把大城市地区看做人类生态系统的组成部分等观念。到 20 世纪 70 年代初，生态学被作为一种设计理念引入到城市绿地系统规划中。此后，城市公共绿地建设开始呈现出以改善城市环境和满足景观效应双重目的的新特点。在城市园林绿地系统建设中，要保护与合理利用一切自然资源与能源，提高人类对城市生态系统的自我调节、修复、维持和

发展的能力，使人、自然、环境融为一体，互惠共生。

6. 倡导城市发展中的城市空间设计

在19世纪，由于城市的脏乱，市容改善问题被提出。1893年为纪念美洲发现400周年，在芝加哥举办的世界博览会上，芝加哥湖滨地带修建了宏伟的古典建筑、宽阔的林荫大道和优美的游憩场地，使人们看到了宏大的规划对美化城市景观的作用，影响所及，在美国掀起"城市美化运动"。后来，原籍芬兰的美国建筑师沙里宁(E. Saarinen)在奥地利建筑师席谛(C. Sitte)对城市形象所作的分析研究的基础上提出"城市设计理论"，要求把物质环境设计放在社会、经济、文化、技术和自然条件之中加以考虑，以创造满足居民基本生活需要的良好环境；并且针对当时形式主义的习尚，他还提出了自由灵活设计、建筑单体之间相互协调、建筑群空间构成及建筑与自然协调等一些基本原则。20世纪50年代以来，城市设计问题除了从视觉艺术的角度继续进行探索以外，还从心理学、社会学、生态学、人类学等角度进行了更深入、更广泛的理论研究和应用研究，这样，就将城市的美化与城市的各项功能要求有机地结合起来，使城市规划思想进一步深化。

§2.3 城市规划思想的发展历程

2.3.1 中世纪至19世纪主要城市规划思想

19世纪上半叶，资本主义城市矛盾随着资本主义的发展而更加突出，一些空想社会主义者继空想社会主义创始人——英国的莫尔(T. More)等人之后提出种种设想，把改良住房、改进城市规划作为医治城市社会病症的措施之一，他们的理论和实践对后来的城市规划理论颇有影响。

1. 乌托邦

在资本主义萌芽时期，针对城市和乡村的脱离和对立、私有制和土地投机等所造成的矛盾，莫尔于16世纪提出乌托邦(Utopia)理论。乌托邦是人们心目中的精神家园，是人们思想意识中最美好的社会，在那里，为避免城市与乡村脱离而控制城市规模，街道宽而通风良好，一切生产资料归全民所有，生活用品按需分配，人人都从事生产劳动，同时有充足的时间从事科学研究和娱乐。空想社会主义一定程度上揭露了资本主义城市矛盾的实质，对后来的城市规划理论有一定的影响。

2. 太阳城

康帕内拉(T. Campanella)是16世纪末至17世纪初意大利杰出的思想家，伟大的空想社会主义先驱。17世纪初，康帕内拉在意大利内乱外患时被捕，在牢狱生活中著成《太阳城》，在书中他抨击了由私有制产生的各种弊病和罪恶，主张废除私有制，同时，向人们详尽地描绘了他心中的"太阳城"理想国。在这个虚构的理想

城邦里，没有私有财产，人人参加劳动，居民从事航海、防卫、农业、畜牧等工作，每天工作 4 小时，其余时间用于读书娱乐，生活日用品按需分配。康帕内拉在《太阳城》中提出的空想共产主义的体系，是后来很多空想社会主义体系的雏形。

3. 新协和村

英国的欧文(R. Owen)是 19 世纪伟大的空想主义者之一，他针对资本主义已暴露出来的各种矛盾，进行了揭露和批判，认为要获得全人类的幸福，必须建立崭新的社会组织。1817 年，欧文根据他的社会理想，把城市作为一个完整的经济范畴和生产生活环境进行研究，提出了一个“新协和村”(village of new harmony)，在这里，耕地面积为每人 4 000 m^2 或略多，村的中央以 4 幢很长的居住房屋围成一个长方形大院，院内有食堂、幼儿园与小学，村边有工厂，村外有耕地和牧地等。1825 年，欧文为实践自己的理想，毅然动用他自己的大部分财产来创设共产村，但最终失败。虽然这种思想遭到当时政府的拒绝，但仍有不少人追随他建立了许多新协和村。

4. 法朗吉

傅立叶(C. Fourier)是法国空想社会主义者，19 世纪初，他发表多部著作揭露了资本主义制度的罪恶，主张以他设计的“和谐制度”来代替资本主义制度。他理想的“和谐社会”，就是由一个个有组织的合作社组成，它的名称叫“法朗吉”。法朗吉通常由大约 1 600 人组成，是招股建设的，收入按劳动、资本和才能分配。在法朗吉内，人人劳动，男女平等，免费教育，工农结合，没有城乡差别，傅立叶幻想通过这种社会组织形式和分配方案来调和资本与劳动的矛盾。同时，傅立叶还为法朗吉绘制了一套建筑蓝图，建筑中心区是食堂、商场、俱乐部、图书馆等，建筑中心的一侧是工厂区，另一侧是生活住宅区.傅立叶的这些设想后来也成为“田园城市”、“卫星城市”等理论的思想渊源。

5. 巴黎规划

19 世纪影响最广的城市规划实践是法国官吏奥斯曼(B. Haussmann)1853 年开始主持制定的巴黎规划。尽管巴黎的改建，有镇压城市人民起义和炫耀当权者威严权势的政治目的，但巴黎改建规划将道路、住房、市政建设、土地经营等作了全面安排，为城市改建作出了有益的探索。影响所及，科隆和维也纳等城市也纷纷效仿。这一时期还出现了另一种建设实践，即英国一些先进工业家在建设工厂的同时，建设新的工人镇，例如 1851 年英国工业家萨尔特(T. Salt)建设了“萨泰尔工人镇”，1887 年英国工业家利威尔(W. H. Lever)建设了日光港工人镇，形成所谓“企业城镇”。这些实践无疑促进了英国社会活动家霍华德(E. Howard)的“田园城市”等城市规划理论的形成。

6. 田园城市

霍华德在他所著的《明日，一条通向真正改革的和平道路》中，提出应该建设

一种兼有城市和乡村优点的理想城市，他称之为“田园城市”，并于1899年组织田园城市协会，宣传他的主张。田园城市实质上是城和乡的结合体。它的规模足以提供丰富的社会生活，四周要有永久性农业地带围绕，城市的土地归公众所有。霍华德通过田园城市理论，对现代社会出现的城市问题，提出了一系列独创性的见解，形成了一个比较完整的城市规划思想体系，田园城市理论对现代城市规划思想起了重要的启蒙作用，对后来的有机疏散、卫星城镇等城市规划理论也有一定影响。

2.3.2 20世纪城市规划学术思想及实践

20世纪初，西方国家的城市问题主要有两个：其一，随着工业革命后，新阶级的迅速成长，促成当时社会秩序的变更，以及继19世纪以后城市化进程的进一步加速；其二，新技术的问世造成的城市变革，诸如单轨铁路、汽车等交通工具的出现对城市规划产生的影响最为有力。伴随着各种各样的城市问题和城市建设活动，各种城市规划思潮也不断产生，以期解决严重的住房短缺等社会问题。当第一次世界大战后，资本主义相对稳定，各国经济复苏，建设活动兴盛，人们提出了许多相应的规划思路和对策，探讨了城市构成与各种经济社会活动的组织协调问题。虽然经历了两次世界大战，使得城市建设曾在一段时间内趋于停顿，但是每一次的战后经济复苏，都为城市建设带来一阵高潮，也为城市规划理论发展带来了大量的思考，从而带动了城市规划学科的发展。

1. 田园城市思想的延续

霍华德的田园城市思想提出后，被英国的一些忠实追随者发展。1903年，为了证实其构想是可行的，霍华德组织田园城市有限公司，筹措资金，并任命建筑师恩维(R. Unwin)和帕克(B. Parker)为第一座田园城市的总体规划设计师，运用霍华德的设计理念，在距伦敦56 km的地方购置土地，建立了第一座田园城市——莱奇沃思(Letchworth)，规划人口3.5万，用地18.4 km^2。1920年，恩维和帕克又在距伦敦西北约36 km的韦林(Welwyn)建设了第二座田园城市，规划人口5万。到了1930年，帕克在英国建设了第三个田园城市——威顿肖维。田园城市的建设引起了社会重视，许多国家都纷纷效仿。20世纪以来，田园城市思想以各种形式渗透到欧洲、美洲、亚洲等各国的城市规划图纸上和城市建设中，并据此作出了许多新的解读和探讨。

2. 盖迪斯对区域规划和城市规划学科的贡献

英国规划大师盖迪斯(P. Geddes)的历史贡献是他首创了区域规划的综合研究，创造性地论证了城市与所在地区的内在联系，他的《进化中的城市》一书牢固地把城市规划建立在研究客观现实的基础之上，体现了他的人本主义的规划思想，强调“按照事物的本来面貌去认识它……按照事物的应有面貌去创造它”。在对城市

进化发展的探索中，人们认识到，城市向郊区发展的趋势，将使很多城镇逐渐结合起来构成巨大的城镇集聚区，甚至形成近几十年来出现的所谓“巨型城市”，因此，城市规划实际上正在或者应该成为城市和乡村结合在一起的“区域规划”。盖迪斯提出了区域规划理论，强调周密地分析地域环境的潜力和限度对于居住地布局形势与地方经济体系的关系，强调把自然地区作为城市规划的基本构架，这使他成为西方城市科学走向综合的奠基人。

3. 卫星城镇规划

20 世纪初，大城市恶性膨胀，使如何控制和疏散人口成为突出问题。作为霍华德田园城市理论的实践者和追随者，英国建筑师恩维、美国规划建筑师惠依顿及后期的沙里宁提出了卫星城镇规划，即在大城市周围用绿地围起来，限制其发展，在绿地之外建立卫星城镇，和大城市保持一定联系。1922 年，霍华德的另一追随者恩维在他出版的《卫星城市的建设》一书中正式提出了卫星城市的概念。卫星城镇有“卧城”，即依附于母城的住宅区性的中小城市，有半独立的卫星城，也有基本上完全独立的新城，卫星城镇的建设为市民提供多种就业机会，使得社会就业平衡，生活接近自然。第二次世界大战中欧洲不少城市受到不同程度的破坏，再次城市规划时郊区普遍新建了一些卫星城市。

4. 雅典宪章

20 世纪以来，人类经历了两次世界大战，国际政治、经济、社会结构发生了巨大变革，科学技术长足发展，人文科学日益进步，价值观念也发生了很大变化，这一切都对城市规划产生了深刻的影响。在 1933 年的雅典会议上，国际现代建筑协会(CIAM)与会者研究了现代城市规划与规划问题，提出了一个城市规划大纲，即著名的《雅典宪章》。《雅典宪章》概述了现代城市面临的问题，提出了应采取的措施和城市规划的任务；指出现代城市应解决好居住、工作、游憩、交通四大功能，居住为城市主要因素，应多从人的需求出发；并指出城市发展中应保留名胜古迹及古建筑，同时强调城市规划是一个三度空间的科学，应考虑立体空间；还提出要以国家法律形式保证规划的实现，城市的种种矛盾是由大工业生产方式的变化和土地私有引起的，城市应按全市人民的意志来规划，以及要有区域规划为依据等。《雅典宪章》是现代城市规划理论发展历程中的里程碑，《雅典宪章》提出的城市发展中的种种问题、论点和建议很有价值，至今仍有重要的影响。

5. 城市集中和分散主义

产业革命后，城市内部结构发生了根本性变化，促使人们从理论上研究城市的结构和形态，寻求城市发展的最佳模式。法国建筑师柯布西耶(L. Corbusier)1922 年在《明日的城市》中主张充分利用当时先进技术成就，建造高层高密度的建筑群，使城市集中发展，以求得最好的生活环境和最高的工作效率，这种思想被称为城市集中主义。而美国建筑师赖特提出的“广亩城市”认为城市应与周围的乡村

结合在一起，平均每公顷居住 2.5 人，被称为城市分散主义，这两种城市模式影响都很广泛。

6. 大伦敦规划实践

1942 年艾勃克龙比(P. Abercrombie)主持编制大伦敦规划，当时被纳入大伦敦地区的面积为6 731 km^2，人口为 1 250 万人，规划方案在距伦敦中心半径约为 48 km 的范围内，在制定规划过程中遵循了盖迪斯所概括的方法，即“调查—分析—规划方案”。大伦敦的规划结构为单中心同心圆封闭式系统，其交通组织采取放射路与同心环路直交的交通网。大伦敦规划汲取了 20 世纪初期以来西方规划思想的精髓，虽然在其后几十年的实践中出现了一些问题，但当时在调查分析的基础上，对所要解决的问题提出了切合时宜的对策与方案，对控制伦敦市区的自发性蔓延、改善混乱的城市环境起了一定的作用。20 世纪 50 年代后期，大家开始对伦敦的一元化结构体系提出异议，促使 60 年代以后，大城市多中心规划结构得到采用和推广，而 60 年代中期编制的大伦敦发展规划，也试图改变 1944 年大伦敦规划中同心圆封闭布局模式，使城市沿着 3 条主要快速交通干线向外扩展，形成 3 条长廊地带，在长廊终端分别建设 3 座具有“反磁力吸引中心”作用的城市，以期在更大的地域范围内，解决伦敦及其周围地区经济、人口和城市的合理均衡发展问题。

7. 马丘比丘宪章

1977 年 12 月，一些世界知名城市规划设计学者于秘鲁利马签署了《马丘比丘宪章》。《马丘比丘宪章》是在《雅典宪章》40 多年的实践后签署的，但是城市规划师们并没有舍弃《雅典宪章》的基本原则，而是在一些重大问题上给予更新和补充，对其进行了分析、完善，着重指出了在城市急剧发展中，如何更有效地利用人力、土地和资源，如何协调城市与周围地区的关系。宪章分为 11 小节，对当代城市规划理论与实践中主要问题作了论述，这 11 小节分别为：城市与区域、城市增长、分区概念、住房问题、城市运输、城市土地使用、自然资源与环境污染、文物和历史遗产的保存与保护、工业技术、设计与实践、城市与建筑设计。宪章强调了城市规划必须在不断发展的城市化过程中反映出城市与其周围区域之间基本动态的统一性，规划过程应包括经济计划、城市规划、城市设计和建筑设计，它必须对人类的各种要求作出解释和反应，不应当把城市当做一系列的组成部分拼在一起来考虑，而必须努力去创造一个综合的、多功能的环境。《马丘比丘宪章》是继 1933 年雅典宪章以后对世界城市规划与设计又一具有深远影响的文件。

8. “邻里单位”概念

邻里单位理论是社会学和建筑学相结合的产物。由于住宅及其环境问题是城市的基本问题之一，美国社会学家佩里(C. A. Perry)通过研究邻里社区问题，在 20 世纪 20 年代最先提出“邻里单位”概念，被称为社区规划理论的先驱。佩里指出居住区内要有绿地、小学、公共中心和商店，并应安排好区内的交通系统。后来，建筑

师斯坦因(C. Stein)根据邻里单位理论设计纽约附近雷德布恩居住街坊，取得重大成功，雷德布恩式的街坊被视为汽车时代城市结构的“基层细胞”。第二次世界大战后，西方国家把邻里单位作为战后住宅建设和城市改建的一项准则。60 年代开始，一些社会学家认为它不尽符合现实社会生活的要求，因为城市生活是多样化的，人们的活动不限于邻里，邻里单位理论又逐渐发展成为社区规划理论。

§2.4　城市规划思想的发展趋势

20 世纪 60 年代以来，世界各地的城市建设进行了许多新的城市规划的实践尝试，如国土规划与区域规划、新城建设、西方大城市内部的更新与改造问题、科学城与科学园地建设、古城和古建筑保护等，还进行了许多大城市的总体规划，包括伦敦、巴黎、华盛顿、东京与莫斯科的城市总体规划等。这个时期各国对古城和古建筑的保护、市中心和重要商业街区的建设、城市园林绿化、居住区的规划结构都进行了新的探索，塑造了新的格局形态、空间特征，提高了城市的环境面貌和文化特征，满足了时代要求。同时，许多国家在大城市地区和重要工矿地区开展了大量的区域规划工作，并有不少国家实现了有计划的国土整治，这个时期的国际现代建筑协会第十小组的建立是城市规划的重要历史性变革，它为 60 年代以来的城市规划与建设奠定了理论基础。

同时，各学科的交叉和横向发展使城市规划成为一门高度综合的学科，出现了一大批理论著作，标志着在城市规划指导思想上的重大突破。在城市规划编制上，各国政府对规划实行统一领导，宏观控制，从过去的物质建设规划发展到多学科的综合规划，把物质建设规划与经济发展计划、社会发展规划、科技文化发展规划及生态环境发展规划相互结合，并采取综合评价，以系统论的观点进行总体平衡；在大城市的布局形态上，封闭式的单一中心的城市布局逐渐被开敞式多中心所取代；规划的范围从国土、区域、大城市圈、合理分布城镇体系等多方面进行综合布局，使全国的人口与生产力布局与城市规划协调，使城乡融为一体；而新技术革命、现代科学方法论，以及电子计算、模型化方法、数学方法、遥感技术等对城市规划与建设产生日益显著的影响。总体来说，当前城市规划学术思想主要表现出以下发展趋势。

1. 动态城市规划思想和方法的出现

城市规划的方法，各国不尽相同，例如英国的发展规划，联邦德国的土地使用规划(也称总体规划)和地区详细规划，苏联的总体规划、近期建设规划和详细规划。中国编制城市规划从 20 世纪 50 年代以来基本上采取第二次世界大战前后国外流行的方法：先论证城市发展性质，估算人口规模；再确定土地使用方式，组织建筑空间结构，确定道路交通系统及其他主要市政工程系统等；然后编制城市总体规

划和城市详细规划。这种规划基本上是一个物质环境规划，为一个城市的未来各种活动安排空间结构，是一幅要在规定期限内（如20至30年内）加以实现的城市物质环境状态的蓝图，用以指导城市建设。经过多年的实践，人们越来越认识到上述规划方法不能适应社会、经济的迅速发展。基于对城市开放性——城市的发展与更新永无完结的认识，在城市规划工作中，将考虑最大范围内可以预见和难以预见的情况，提供尽可能多的选择自由，并给未来的发展留有充分的余地和多种可能性。城市规划界提出了“持续规划”和“滚动式发展”的规划思想，即主要着眼于近期的发展与建设，对远景目标则不断地加以修正补充和调整，实行一种动态的平衡，从而抛弃了把城市规划当做城市“未来终极状态”的旧观念。在这种认识下，出现了崭新的城市规划方法，如英国在1968年用新的结构规划和局部规划的两阶段规划方法代替原有的发展规划或总体规划。在规划内容上除了物质环境规划，还增加了经济规划和社会规划，以实现城市的社会经济目标，因此成为多目标、多方面的更为综合的规划。

这说明，随着经济的快速发展，城市日新月异，城市规划也要求能够随着城市的发展变化不断地调整城市发展目标和发展蓝图，使城市规划符合最新的城市发展条件，对城市建设产生更具实际意义的指导作用，这就是“动态城市规划”思想。“动态城市规划”思想主要是针对城市发展过程中那些不可确定的外部因素可能会使城市发展出现新的情况，即可能产生与原有城市发展环境不同的新的城市发展环境和条件，而这时城市规划由于还停留在以前的数据分析上，没有及时反映出这种城市新的发展态势，城市规划所表现出来的城市发展前景对城市建设管理就不再具有实际指导意义。城市发展中的这种外在干预很难预料，也必然存在，这就需要城市规划也是一个动态发展过程，能根据城市用地状况的改变或外在环境的改变及时调整规划方案，以适应新的城市发展环境需要。动态城市规划过程不仅体现了城市发展的自然规律，也体现了城市规划业务的自身特征，表现了城市规划工作作为一个系统工程的复杂性。“动态城市规划”对城市规划的方法和手段提出了更高的要求，它不仅需要更多的数据支持、更及时的数据更新，而且需要更有说服力的决策分析支持，靠原来的常规方法难以满足这些要求，它需要通过科技创新支持“动态城市规划”的实现。

2. 新技术手段的使用

新技术革命、现代科学方法论，以及电子计算、模型化方法、数学方法、遥感技术对城市规划产生了深远的影响。系统工程学、工程控制论等数理方法及电子计算机遥感等新技术手段在逐步推广它们在资料的收集处理、预测评价方面所提供的方法和手段，有助于提高城市规划工作的质量。

自工业革命以来，科学技术对经济发展的推动作用始终存在，但其主导地位近年来越来越显著。经济合作与发展组织的《1996年度科学、技术和产业展望》提出

“以知识为基础的经济”概念，其定义是“知识经济直接以生产、分配和利用知识与信息为基础”。在知识经济时代，科技创新成为最重要的发展资源，被称为无形资产，当代城市规划必须适应形势的发展，从理论上和实践上不断开拓、创新，有效地利用新技术、新手段，掌握更全面、更准确的信息，更快地做出科学的决策，以顺应社会的发展潮流。信息化、网络化、数字化、智能化的浪潮汹涌澎湃，数字城市正是这股浪潮的潮头，如果我国能够抓住历史赐予的跨越式发展机会，中国的城市规划、建设和管理水平将极有可能冲进世界先进国家的前列，并带动相关产业的发展。

3. 交叉学科的不断拓展

自古就有多学科参与城市的研究，近年来更趋活跃，从地理学、社会学、经济学、环境工程学、生态学、行为心理学、历史学、考古学等方面研究城市问题所取得的成果，极大地丰富了城市规划理论，这个趋势将继续下去，今后还会有更多的学科渗入并开拓城市问题的研究领域。由于城市问题包罗万象，有人提出在有关学科群的基础上建立以研究城市性质、城市模型、城市系统和发展战略为目的的城市学，也有人提出建立以系统研究乡村、集镇、城市的各种人类聚居地为目的的人类聚居学等。这类新学科的建立，或许有助于加深对城市的宏观认识，但它的进展需要建立在完成大量城市问题研究工作的基础上。

第3章　GIS及数学方法在城市规划中的应用

§3.1　GIS在城市规划中的应用

3.1.1　地理信息系统和城市地理信息系统

1. 地理信息系统

自1962年加拿大人汤姆林森(R. Tomlinson)首先提出地理信息系统(geographic information system,GIS)的概念并领导建立了世界上第一个具有实用价值的GIS——加拿大地理信息系统(Canada geographic information system,CGIS)以来,GIS在全球范围内获得了长足的进步。作为对人类生活空间的数字化描述、分析和表达的工具,GIS正逐渐成为信息产业的一个重要组成部分,成为国民经济新的增长点。全球范围内从事GIS理论和应用研究的研发人员、科研院所和高新企业不计其数,应用科学化、科学技术化、技术产业化已经成为GIS领域发展的主旋律。GIS正在从一个单纯的应用系统发展为一个完整的技术系统和理论体系,并已被广泛应用于各个领域,对社会发展作出了重要贡献(李德仁 等,1993)。

GIS是一种为了获取、存储、检索、分析和显示空间定位数据而建立的计算机化的数据库管理系统。对GIS,不同的专业人士提出了不同的看法。著名的GIS供应商,美国ESRI公司对GIS的解释为:"GIS是包括计算机硬件、软件、地理数据和人,按一定组织形式的集合,用于有效地采集、存储、更新、操纵、分析和显示各种形式的地理信息。"美国地理信息和分析国家中心出版的GIS核心课程中的定义则为:"GIS是一种专门用来处理地理数据的信息系统。信息系统是一个对原始数据进行处理和加工的操作集合,然后产生出供决策使用的有意义的结果。"GIS不仅包括空间数据,它同时也包括非空间数据信息,并具有空间分析功能,从某种意义上讲,GIS可以看做是由硬件、软件和设计用来支持采集、管理、操纵、分析、建模和显示空间相关信息以解决复杂的规划和管理问题的过程组成。尽管很多其他的计算机程序都可能管理空间数据,如CAD系统,但GIS包含了空间操作功能,并且带有属性数据库(李德仁 等,2000)。

2. 城市地理信息系统

城市地理信息系统是GIS的一个分支,是一种利用计算机技术及信息工程技术等实现对城市各种空间信息和非空间信息及其属性数据进行采集、处理、存储、

管理、查询、分析、应用和维护更新的空间信息系统。城市地理信息系统是城市的一项基础设施建设，是城市管理和决策的现代化工具。它为城市规划、建设和管理的定量化、科学化，以及为城市地理信息进行快速查询和分析提供了先进的技术手段和方法，并为决策提供辅助支持(修文群 等，1999)。

城市地理信息系统担负着整个城市综合信息的存储、分析、交换和服务的功能，它的建设和应用本身就是一个巨大而复杂的系统工程。城市地理信息系统的数据来源非常广泛，且数量庞杂、需求千差万别。这就要求信息分类、数据格式、技术流程、设备配置、网络通信等有一系列相互配套的标准、规范和约定，以确保信息资源共享，还要求城市之间的各系统要互相兼容，城市内的子系统各个环节和各部分之间上下左右要互相连接，历史的、现时的和预测未来的信息相互可比等，从而达到技术一致、能够相互交流的目标。

3.1.2　GIS 技术在城市规划管理中的应用体系

1. 城市规划管理中的信息管理系统建设

在英国等欧洲国家，城市规划是最先使用 GIS 技术的领域之一，如今在这些国家 GIS 的应用已经深入到规划设计与管理的方方面面。GIS 技术的最重要特征是其集成管理大量的多专题的空间与属性数据的能力，GIS 软件空间分析统计功能则在更高层次上提供了将数据转换为信息及知识的有效手段。同时，城市规划设计与管理工作是一项涉及多部门、不同层次空间与非空间数据的多任务、多目标动态决策系统，GIS 及其相关技术能够在城市规划工作中起到关键作用，切实推进 GIS 的应用是城市规划事业自身发展的需要(宋小冬 等，1995)。当前，GIS 在城市规划管理中的应用已非常广泛，所使用的信息管理系统主要包括以下几种。

1)总体和分区规划系统

总体规划系统是系统的龙头，具有有关城市规划信息的综合查询、规划控制和土地利用管理功能。

2)城市控制性详细规划系统

城市控制性详细规划系统是整个规划信息系统的核心。随着规划小区报批软件的完善与规划方案报批实施细则的执行，详细规划信息系统将发挥越来越大的作用。

3)城市修建性详细规划系统

城市修建性详细规划系统日常工作量大，具有建筑审批、市政工程管线审批、规划管理、测绘管理和政策法规管理等功能。

4)道路规划系统

在道路规划系统中，城市规划道路一经确定，立即可调用地形与地籍图等数据，查找到国土、房产等对应信息，综合分析并计算出规划道路内需要拆迁的房主

情况、房屋结构和房屋基底面积等，为建设管理提供高效的决策支持。

5)地下管线信息系统

地下管线信息系统具有网络分析(包括事故分析)、任意断面生成与分析功能；自动生成任意点道路横断面图和交叉点标高图，根据所提供的事故发生地的地理位置及管线现状，确定受影响区域的大小，找出相关阀门或检修井，绘制受影响区域的现状管线图。可以根据规划设计的要求，自动进行管线信息的筛选、图形简化、符号更改、接边处理等(蒋云良，2000)。

6)规划办公自动化系统

系统全面支持城市规划部门的办公，整体提高规划作业、管理效率与管理质量。强调案件跟踪与流程的规范化、自动化，以利于建立市场经济条件下的公平、效率，改善政府机关办事的公众形象。

7)辅助设计系统

控制性详细规划辅助设计系统是协同设计平台的主要组成部分。除了控规外、它还可用在法定图则、分区规划、总体规划等规划项目中，它包括平衡表计算、图例自动生成、图案填充、自动标注编号、性质、地形图裁减、拼图、建筑密度、建筑量、容积率计算等功能。

8)城市规划信息管理系统

组织管理规划过程中涉及的相关数据，包括已经完成的规划项目、现状图、地形图、影像图等，方便用户的查询、统计和分析。主要包括数据调用、形式多样的分析统计、地形管理、建筑密度、建筑量、容积率计算、专题图制作等功能。

9)城市规划网上咨询信息系统

规划信息在互联网上发布的专用系统，系统具备先进的算法与加密技术，保证了数据在 Internet 环境下运行的安全与高效。它主要包括查询、视图管理、地形图管理、数据分析、数据统计、用户交互等功能。

10)即时通信与 OA 系统

在传统办公自动化的基础上，利用即时通信平台进行管理流程信息的传递和处理，结合远程办公手段，实现整个系统的高效便捷。OA 系统具有项目管理与即时通信的无缝衔接，局域网内能进行高效的文件传输、电子签名、远程办公(谢士杰，2000)。

11)专项规划管理系统

结合实际规划设计工作和各项专题研究，建立城市规划涉及的各个专题的专项分析系统，所有的专项信息系统采用统一的技术平台，方便资源共享、整合。

2. GIS 在城市规划管理中的应用分类

信息技术在城市规划管理中的应用非常广泛，我们可以从不同的角度、不同的侧面了解城市规划信息系统及信息技术在城市规划管理中的应用。在此，基于

GIS 及城市规划工作的特点，根据不同的分类方法对城市信息子系统进行以下分类。

(1)根据规划的内容和侧重不同，可分为用地规划管理系统、专项规划管理系统。

(2)根据规划的层次与深度不同，可分为总体规则管理系统、分区规划管理系统、控规管理系统。

(3)根据工作目的和使用技术不同，可分为规划辅助设计系统、规划管理系统、办公自动化系统。

(4)根据信息的传播范围不同，可分为部门内部的信息查询系统、局域论坛、面对外部的信息发布系统。

3. 信息技术在城市规划管理中的应用层次

随着信息技术的快速发展，城市规划管理也成为信息技术应用的一个重要领域，从城市规划部门规划图纸的绘制到城市用地管理部门的规划信息查询，从单纯的辅助规划制图到规划信息的综合管理与信息挖掘，信息技术在城市规划管理部门中的应用越来越广泛、越来越深入。在城市规划管理过程中，信息技术已成为各种规划管理业务中必不可少的工具。总的来说，信息技术在城市管理规划中的应用包括以下几个层面。

(1)基础资料收集阶段：主要是基础资料的输入与管理。

(2)规划方案分析阶段.通过相关技术和模型对基础资料进行分析，为规划方案的制定提供决策支持。

(3)规划制作阶段：利用 CAD 技术辅助城市规划成果的绘制，完成各种规划信息的输入。

(4)规划存档及规划管理指导阶段：对各种规划数据进行存档管理，并建立规划信息查询系统。

(5)规划管理审批阶段：利用数据库技术、CAD 技术和 GIS 技术完成修规及建设工程的设计和审批。

(6)建设工程竣工验收阶段：对验收结果进行数字式存档，该存档结果将成为新的城市基础信息。

4. GIS 在城市规划管理中的应用体系

1)数字城市规划体系构建目的

城市规划是对城市空间进行布局及对各项建设进行综合布置和具体安排，从系统论的观点来看，可以把编制城市规划的过程理解为寻找和分析城市问题、认识城市发展规律的过程，也是系统解决城市问题的一个重要手段。伴随社会和经济的发展，城市规划面临越来越紧迫的形势，城市建设节奏越来越快，传统规划设计模式难以适应现代化建设节奏的要求，为了适应新形势下城市规划工作的需要，建设基于 GIS 的数字城市规划信息平台，从技术管理流程、设计手段上对传统的工

作模式进行全面变革，建立信息化设计工作模式非常必要。通过信息化手段提高城市规划的科学性，是城镇化和城市现代化健康发展的重要保证，也是保证规划行政管理依法办事的重要手段(周兴汉 等，1998)。

城市规划数字化工程，也可以理解为“数字城市规划”，通过众多规划管理子系统构建成一个城市规划信息大系统，该系统利用计算机技术对城市规划信息进行获取、处理、存储、管理、分析及辅助决策。由于规划管理业务之间是相互联系的，所以要考虑根据规划管理业务的相应流程及各子系统之间的可能联系进行数字城市规划体系的构建。在此主要是想通过综合利用计算机、CAD及GIS等信息技术处理好数字规划流程之间的相互衔接及各子系统之间的联系，以充分利用软、硬件资源及信息资源，减少信息技术应用过程中的重复建设，这样不仅会节约资源，而且方便信息的使用，保证信息的前后一致，促进规划信息的快速更新，并有利于信息的综合分析，从而使数字规划过程成为一个有机运作系统(于卓 等，2002)。因此，有必要对信息技术应用的各个环节及其相互之间的联系进行研究。

2)数字城市规划体系的系统性特征

(1)信息的承接性：输入的信息能顺利被相关系统接收，不需要复杂的数据转换或处理。

(2)信息的完整性：城市规划中的各种信息，从总体规划信息到控制性详规信息，从城市基础信息到各种专项信息，都能完整、集中地反映出来。

(3)系统功能完备性：应用于城市规划管理中的信息系统主要有三种：第一种是城市规划辅助设计系统，它能提供方便的数据输入和辅助规划设计及绘图功能；第二种是数据管理信息系统，它可提供方便的数据管理、查询、统计、显示等功能；第三种是辅助分析决策系统，它能提供一定的分析功能，为规划方案制定和管理提供决策支持。这三种系统之间在功能上既相互独立，又相互联系，不应有不必要的功能重叠，从整体上要保证系统功能完备，能为城市规划管理提供全面、完善的服务。

3)数字城市规划体系概貌

数字城市规划体系的建立要满足城市规划管理业务的需要，数字城市规划体系与城市规划管理业务系统本身相比较，它有自己明显的特征，即它有自己的组成要素、操作对象和组织方式。它是建立在信息技术基础之上的，主要操作对象为各种数据，主要任务是完成数字式信息的生产，方便各种信息在规划管理业务中的使用。总体来说，数字城市规划体系框架概貌如图3-1所示。在该体系中，由于城市规划自身体系的存在，从总体规划到控制性详细规划再到修建性详细规划，各种规划有不同的特点，它们在数字式输入及管理上也有所不同。其中，总体规划及控制性规划成果主要为管理提供服务或者为规划设计人员的修建性详细规划设计提供依据，数据输入和方便的信息查询与提取对这两个系统同样重要，所以在系统的建

立过程中要考虑城市规划辅助设计系统与后面的数据管理系统的联系。而修建性详细规划往往作为城市规划的最后一个成果用于指导城市建设的实施，所以它所起到的作用将在城市建设完成后终结。因此，在修规辅助设计系统中更注重于指标的计算、实体间的相互定位关系和设计表现的方便性。

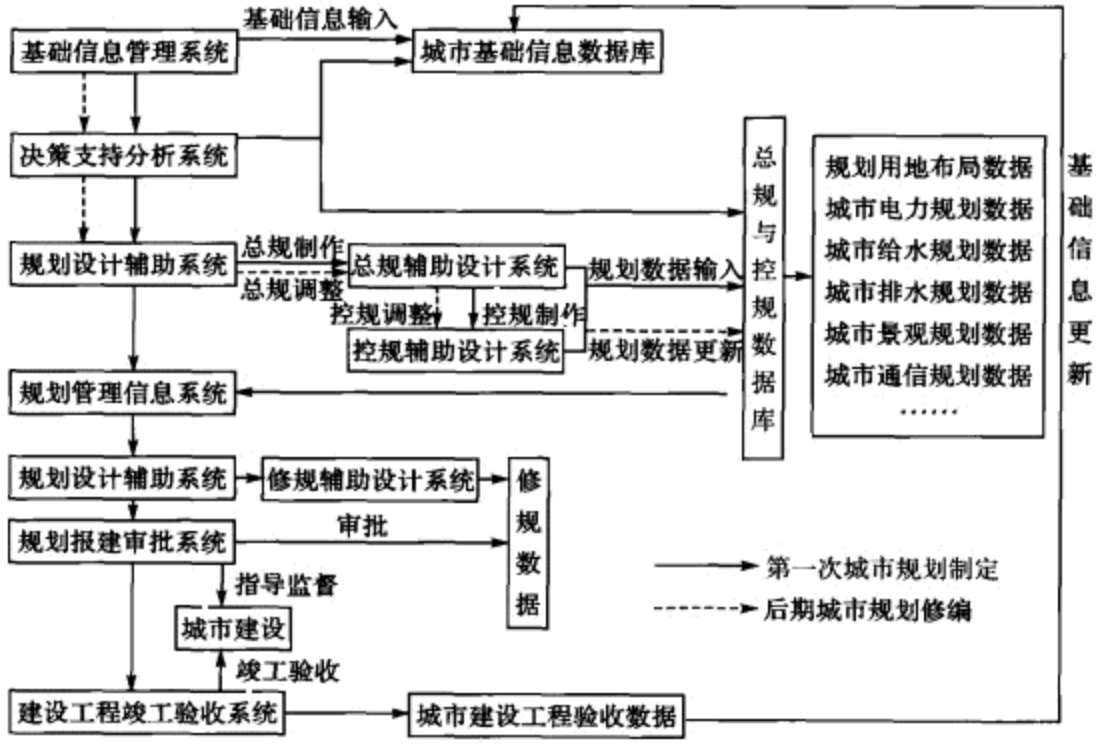


图 3-1　数字城市规划体系框架

5. 数字城市规划体系构建

在城市规划管理信息系统中，数字式城市规划信息是系统的血液和运行基础，因此，对于一个良性运转的城市规划管理系统而言，城市规划信息的质量非常重要。在此，城市规划信息可分为两类：一类是支持城市规划的信息（如基础地形、地质、社会经济统计信息等）；另一类是规划产生的信息（如规划法规、规章、规范、图则等）。由于城市的不断发展和城市规划的动态性，这两类数据都不是一成不变的，因此，在体系的建立上要考虑能保证各系统内信息的一致性和整个系统内信息的及时更新，然后在此基础上加强各系统之间的信息联系。数字城市规划体系构建主要从以下两方面着手。

1）数据纵向衔接

主要通过数据在规划业务流程方向上的有机联系体现数字城市规划体系的系统性。主要利用以下两种技术手段。

（1）规划数据的设计标准统一。系统中的数字式信息在使用上有两种可能：一

种是本系统数据可能被下一流程系统直接使用，另一种可能是下一流程系统将在此数据基础上产生新的数据。无论怎样，上一层次的数据都将成为下一层次操作的基础，因此，保证数据在相关子系统之间的有效流动是数字规划体系构建的重要环节。在进行相关子系统设计时，要考虑该系统的数据分类标准、编码方式、数据输入方式、数据格式等能在整个系统内连续统一。

(2)信息技术综合。现有的多数城市规划设计都是利用CAD技术辅助完成，一般情况下，设计人员只考虑规划成果的表现，而未考虑数据的后期使用，这也是数据资源的一种浪费，尤其是总规和控规，其成果完成后还必然要经常被设计人员或管理人员访问以指导城市建设，修规数据则还有可能用于审批管理中。由于总规与控规在前期设计与后期辅助管理上基本上只涉及同一部门人员，它们之间的联系更容易实现，而修规则由于其涉及不同群体的操作人员，所以要考虑的问题更复杂一些。在这里所使用的信息技术综合主要包括以下两种。

——CAD与GIS技术综合：也就是把CAD辅助规划制图技术和GIS图形与属性数据综合管理技术结合起来；把城市规划中的规划实体，主要为地块，既看成是一个图形符号，又看成是一个具有唯一识别代码和相关空间属性的空间实体。这将有利于指标的计算，尤其在控规中，还将会有助于规划图则的制作。CAD与GIS技术结合不仅方便了制图，又能使这一阶段的数据成果成为下一阶段规划管理系统的数据源。

——GIS与网络技术综合：通过网络与GIS技术综合构建城市规划信息网络系统，实现城市规划信息的分级管理和有序传递。

2)数据横向联系

主要通过系统之间的数据综合利用和信息的整体分析来加强数字城市规划体系的建设。在此，涉及以下两个方面。

(1)数据嵌套和叠加：数据的集中和综合将有助于规划方案分析及重要信息的捕捉与提取，例如规划数据与现状数据集中在一起有利于分析规划布局的合理性；控规和总规放在一起可以明析不同层次对用地的控制程度，有利于准确把握土地利用的适用范围等。由于所有的城市规划信息都是建立在同一城市空间内，通过相同的坐标就可以把各种数据组织起来，是种相对来说比较简单有效的方法。在这里主要有3种城市规划信息集中形式：①不同层次城市规划数据的嵌套，进行层层深入，如总规的地块中嵌套控规中的更小地块，或在1∶2 000的地形图中嵌套1∶500的地形图；②同一层次规划数据的叠加，如用地布局规划数据和给排水管线规划叠加；③规划与现状数据的叠加。

(2)建立整体分析模型：城市规划中规划方案的制定和调整都是建立在大量数据分析基础之上，在城市规划管理数据仓库上建立数学模型，把相关的空间数据和属性数据放在一起进行分析，发现城市问题的根源，探索城市的发展规律，也就是

通常所说的“数据挖掘”，这是人们一直关注的研究方向。

3.1.3　GIS 在城市规划管理中的应用实践

近几年来，人们不只在 GIS 技术上不断探索，对 GIS 的应用实践也在不断挖掘和创新，使得 GIS 的应用越来越贴近人们的生产和生活实际，GIS 逐渐成为人们生活和工作中不可缺少的重要工具。在城市规划管理工作中，与城市规划生产实际联系紧密的 GIS 应用也需要不断的挖掘，以便为城市规划工作提供更多的信息及决策支持，并对行业发展起到推动作用。在此，总结近几年的工作实践，给出 GIS 在城市规划管理中以下几个方面的应用实例。

1. GIS 在城市规划辅助设计中的应用

以城市规划辅助设计为契机，在其中引入 GIS 概念与思想，即打破原有的 CAD 技术与 GIS 技术的界限，在规划辅助设计软件研发中，将两者有机结合起来（如图 3-2 所示），借助于 CAD 技术的强大图形编辑功能和 GIS 技术强大的信息管理能力，既能够满足规划制图的需求，又能够进行规划信息的查询、分析。如系统可以自动填充图案、自动生成图例、自动生成平衡表，以及辅助计算建筑量、建筑密度、容积率等。

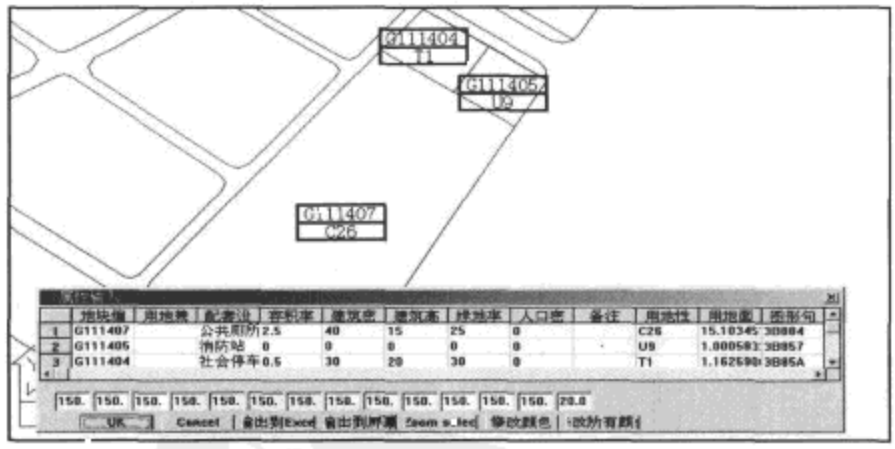


图 3-2　城市规划辅助设计系统

2. GIS 在城市规划专项研究中的应用

1）土地利用生态适宜性评价

土地利用生态适宜性评价主要对于特定区域内的不同土地，根据土地质量的差异及土地利用方式的生态、社会的要求，找出影响其土地自然适宜性的主导因素，运用数学方法建立生态敏感程度与主导因素之间的相互关系，以计算机为依托、GIS 技术为支持，通过叠加功能等空间处理操作，完成土地利用的生态适宜性评价工作，最后把用地按其敏感值大小划分等级（如图 3-3 所示）。

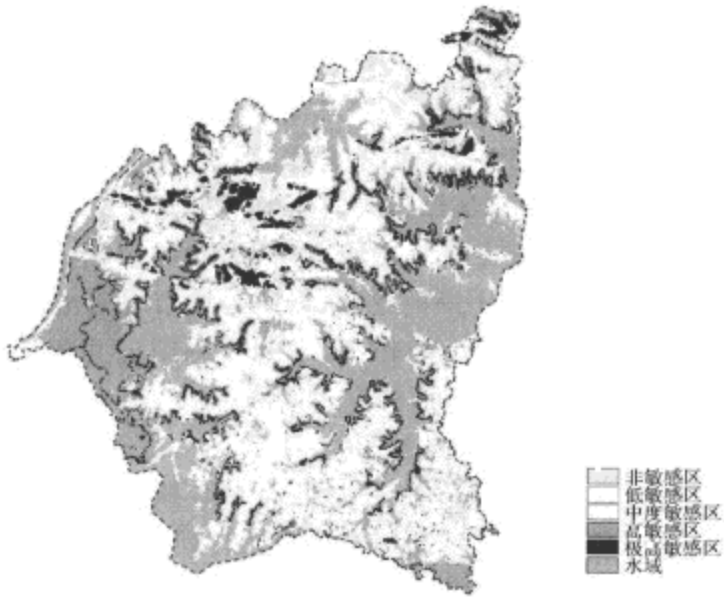


图 3-3 土地利用生态适宜评价图

2)城市建成区范围界定

通过对城市建成区概念进行解读,在城市用地现状调查的基础上初步界定了城市建成区的边界。在此基础上,对医疗、体育、教育等公共设施覆盖范围进行GIS叠加分析,得出公共服务设施覆盖范围,结合市政公用设施覆盖范围,帮助界定建成区边界的地块(如图 3-4、图 3-5 所示)。

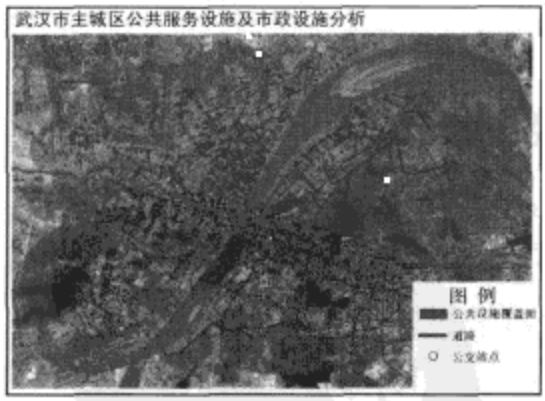


图 3-4 公共服务设施覆盖范围图

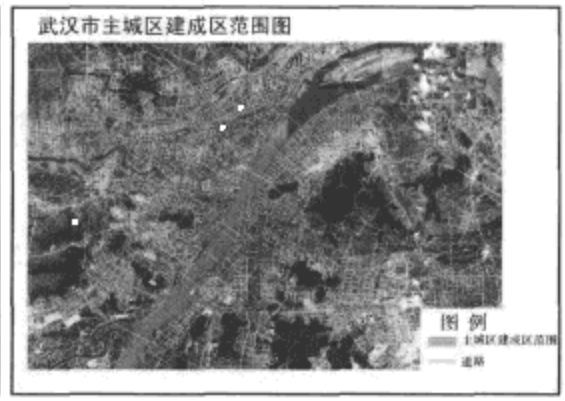


图 3-5 主城区建成区范围图

3)城市用地现状调查

结合城市总体规划修编工作,以地形图、影像图为基础,进行城市用地现状调查工作。重点运用面向对象的影像分析技术(如图 3-6 所示),从影像上快速分析水体、绿地、道路等基本因素,绘制用地现状调查底图,建立快速工作的技术途径,

同时，所有数据均在 GIS 环境下进行处理和管理。

4）城区土地利用建设强度研究

通过城市用地建设强度理论研究，分析影响城市各类用地建设强度的各类因素，突破传统定性分析的技术模式，运用 GIS 技术手段进行定量空间分析。将城市空间划分为 50 m×50 m 的若干栅格点，计算城市中每个设施对空间上栅格点的影响值。以居住用地为例，通过分析影响居住用地建设强度的若干因素，建立空间模型，综合计算空间中每个点的影响值，形成居住用地建设强度等值的分布图（如图 3-7 所示）。



图 3-6　用地现状调查中使用的影像图

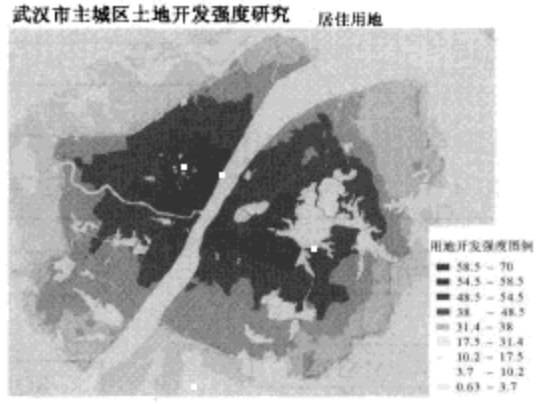


图 3-7　主城区居住用地开发强度分析图

3. 城市规划管理信息系统的构建

1）城市基础信息管理系统

地形图是城市规划的基础图，城市基础信息主要为各种比例尺地形图、影像图等基础数据，包括城区及郊区城关镇 1∶2 000 地形图、市域范围 1∶10 000 地形图、0.3 m 分辨率的正射影像、2.5 m 分辨率的 SPOT-5 卫星遥感影像等。在城市基础信息管理系统中，用户可以任意调取所感兴趣区域的地形信息，并按不同的组合进行显示，由于地形图的数据量较大，而且规划部门、建设单位长期以来一直采用分图幅使用的习惯，因此系统提供了从屏幕点取、通过图号查询和随意范围框选等多种选择方式，照顾了用户的使用习惯，并提高了系统运行效率。

2）城市规划咨询信息系统

城市规划咨询信息系统可对土地市场动态信息、房地产市场动态信息、规划审批项目信息进行查询统计，对各种相关空间数据资料进行管理查询，包括和土地开发、房地产建设项目相关的规划和用地控制资料。通过对土地开发数据的信息化处理，捕获城市土地运作新动态。除此之外，该系统还包括各种社会经济发展资料电子档案系统，能够建立完善的情报、信息收集机制，为规划管理提供图书、素材、相关法规、国内外发展情况等相关的背景资料。

城市规划咨询信息系统采用面向对象的方法进行开发，内部采用组件方式实现(如图 3-8 所示)，系统主要由数据库、基础软件平台、应用软件等三个部分组成，软件结构采用三层或多层结构，分为表现层、应用逻辑层和数据服务层。城市规划咨询信息系统从总体结构上划分为土地及房地产信息查询统计分析决策子系统、中心项目成果归档及管理子系统、社会经济信息查询管理子系统、基础资料查询管理子系统等几个模块，具有文件管理、图层管理、选择编辑、屏幕视图显示、地形图管理、图形属性查询、统计、档案管理、专题图制作等功能。

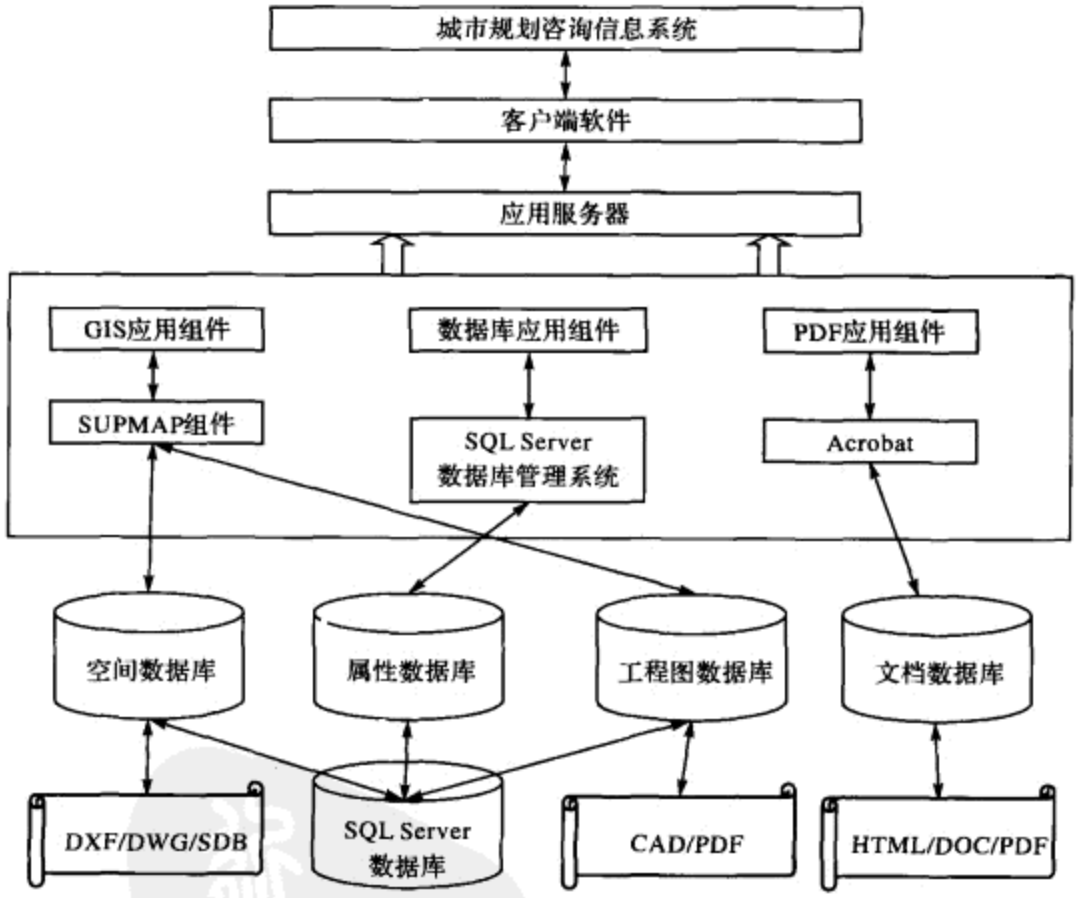


图 3-8 城市规划咨询信息系统结构

城市规划咨询信息系统数据库包括土地市场动态信息数据库、房地产市场动态数据库、规划审批项目数据库、项目归档数据库、基础资料数据库、经济社会资料数据库等；系统数据库分为空间数据库、属性数据库、工程图数据库及文档数据库。所有图形信息均采用 1∶2 000 地形图坐标系统为基准坐标系统，保证系统内所有图形信息能够精确叠加显示。系统的数据(包括图形与属性数据)主要存储在 SQL Server 数据库中，也有部分数据以文件方式存储，如 HTML、DOC、PDF、CAD 数据文件。

3)城市控制性详细规划信息管理系统

控制性详细规划是城市规划体系中的一个重要环节,是对总体规划、分区规划的深化,也直接指导修建性详细规划和建筑设计。控制性详细规划信息管理系统作为规划设计与管理之间的桥梁,具有较广的使用范围,包括规划管理部门、规划设计部门、政府机构、社会团体、建设单位、市民等,要求客户端通用性好,使用平台广泛,同时系统应具有较强的处理并发事务的能力,并能建立起快捷的消息反馈机制,规划管理部门、规划设计部门、政府机构、社会团体、建设单位、市民等用户的要求都应该能够立刻反馈到设计人员,实现全方位的公众参与,进而提高规划设计和管理的科学性和全面性(如图 3-9 所示)。

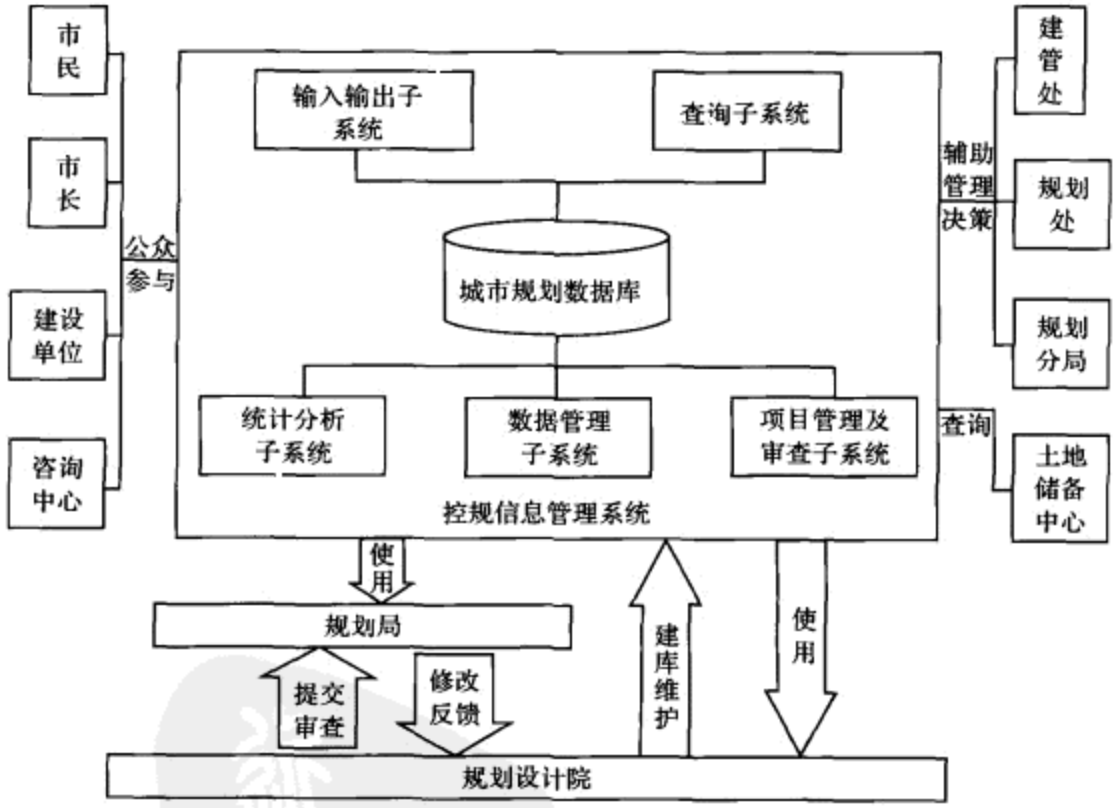


图 3-9　控制性详细规划信息管理系统工作流程

为了满足以上要求,控制性详细规划信息管理系统以 GIS 技术为支撑,以控制性详细规划为核心,综合运用分布式并行处理技术、客户/服务器(C/S)技术、数据库技术,紧密结合规划设计、城市规划管理审批等工作特点,实现对控制性详细规划信息的全程动态管理,并通过对数据的综合分析和处理,为城市规划设计管理部门、城市建设部门和相关部门提供及时、准确的决策辅助信息。控制性详细规划信息管理系统包括输入输出子系统、数据管理子系统、查询子系统、统计分析子系统、项目管理及审查子系统等模块,具有图层管理、智能显示、定制图例、地形管理、

查询统计、用地平衡表制作、拆迁量及容积率计算等功能(如图 3-10 所示)。

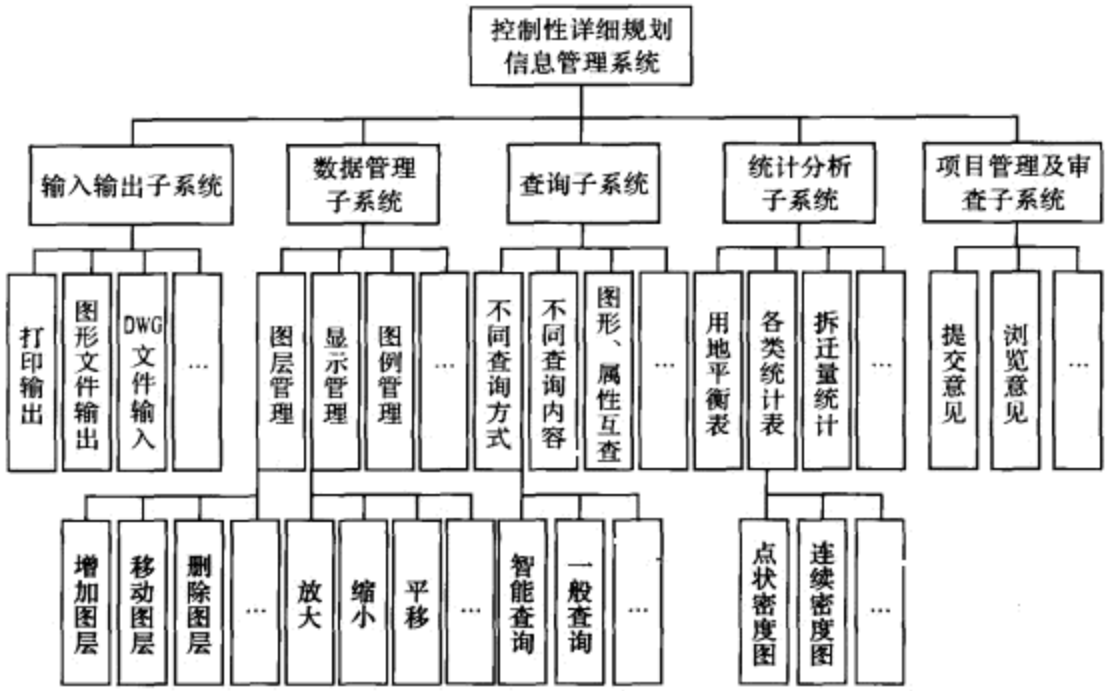


图 3-10 控制性详细规划信息管理系统模块功能构成

4)城市规划道路信息系统

城市规划道路具有精确的空间定位,对城市用地布局及其他规划具有重要作用。但城市规划道路的最初数字化是基于城市道路规划图的绘制需要在 CAD 技术支持下完成的,因此,在 AutoCAD 支持下的数字式城市规划道路数据将是城市规划道路信息系统的主要数据源,而城市规划道路信息系统则可使 AutoCAD 中的数据直接为城市规划道路信息系统所接收,支持城市规划道路空间数据库的建立,同时也使城市道路规划业务的各个流程紧密地联系在一起。城市规划道路信息系统按照 GIS 各功能的聚散程度和耦合程度及用户职能部门的划分等,将系统结构划分为辅助道路设计子模块、数据转换子模块(把 CAD 数据转入道路信息数据库中)、道路及市政设施信息管理子模块、网络发布子模块、道路网络分析子模块等,系统道路数据可为城市规划设计部门提供服务,也可为外围相关部门服务(如图 3-11 所示)。

城市规划道路信息系统主要解决道路及市政设施规划设计成果的信息化管理问题。该系统利用最新的 GIS 技术、空间数据库技术、网络及组件 GIS 等技术,紧密结合道路及市政基础设施规划设计业务及其信息管理的实际需要,建立功能强大的、专业性强的、国内一流的道路及市政基础设施信息系统,实现道路及市政基础设施设计及管理的科学化、规范化。

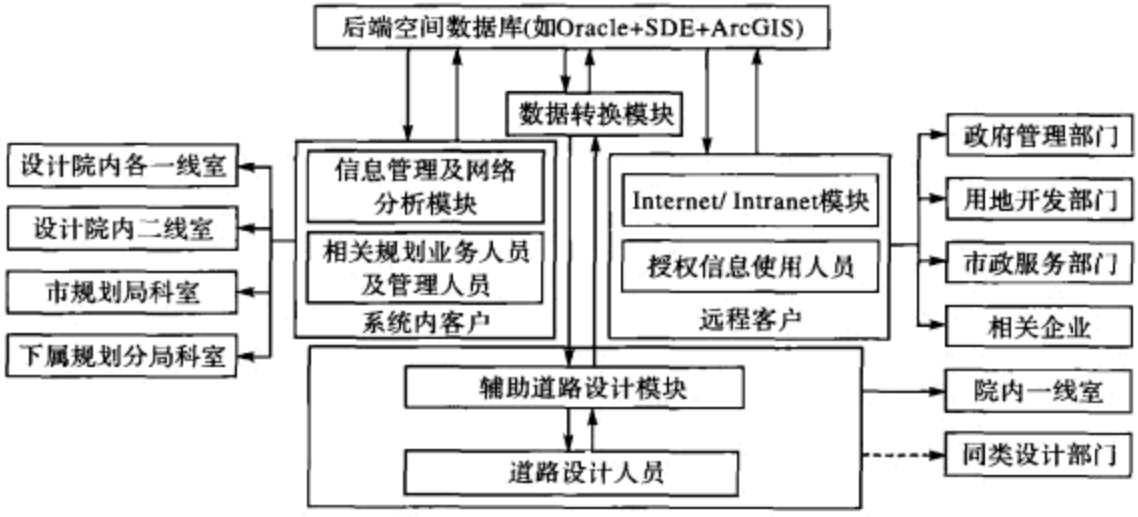


图 3-11　城市规划道路信息系统各模块之间的联系

5)城市规划综合数据库系统

城市规划综合数据库系统是协同设计平台的信息总管模块，它负责组织管理规划过程中涉及的相关数据，包括已经完成的规划项目、现状图、地形图、影像图等，方便用户的查询、统计和分析。通过城市规划综合数据库系统管理各类规划设计成果、市政设施、城市基础地理信息、相关文字、图片等海量资料，成为新时期城市规划工作的重要工作平台。

§3.2　城市规划中的数学方法及其应用

3.2.1　城市规划与系统工程学

1. 系统工程学与城市规划定性与定量分析

城市规划是促进城市可持续发展的有效技术手段。作为地理学、经济学、社会科学等学科的交叉学科，城市规划不仅要研究空间、资源配置等物质实体，还要研究其间的相互作用、影响因素，同时还要作出一系列决策。这个社会经济大系统内的因素繁多，要协调好它们之间的关系，单纯依靠定性描述的手段显然不够，科学发展的历史也已经指明，科学技术定量化是科学发展的必然历史趋势，必须采用定性与定量分析相结合的方法。因此，在规划过程中采用数学模型，进行定量化决策是提高城市规划准确性的重要手段。

以前，进行的大多数城市规划分析大多停留在对现状的描述上，运用统计分析等统计学方法进行的定性与定量分析相结合的手段和技术还非常薄弱。随着计算机技术的广泛应用及运筹学等相关学科的发展，研究的手段也逐渐从定性迈向定

性和定量的结合，即先定性分析城市规划的影响因素及城市运动变化规律，然后运用系统工程的定量化、模型化手段建立综合数据库和应用模型，从而推动了定量分析与模拟在城市规划中的应用与发展。也只有在定量模拟的基础上，才能准确地预测城市的发展变化与持续服务能力。这种变化说明了城市规划学科正从注重表向的研究深入到本质的探索，努力揭示事物内在的机制和运动规律。

系统工程学理论的基本点就是要求人们对研究对象作完整的、系统的、全面的考察与分析，而系统工程学的方法论就是要求人们既定性又定量地研究分析对象。城市规划方案、城市建设管理措施的优化显然是我们竭力追求的目标，系统工程通过对城市大量有关资料、数据的整理加工进行统计分析，可以提示城市系统各要素的内在联系和发展规律，预测城市的发展，为规划提供科学的依据(陈秉钊，1991)。

2. GIS、系统工程学与城市规划定性、定量、定位分析

随着GIS的广泛应用，使多属性、大范围的空间模拟分析成为可能，现在如何把数学方法和空间分析技术有效结合起来，在定性分析的基础上找出一个有效的定量化方法，对城市规划方案进行优化分析并提出优化措施，是一个值得探索的方向。国外城市规划界从20世纪60年代起，已普遍运用了数理统计、运筹学、线性规划、数学模型和计算机技术来模拟实际情况对规划方案进行研究，这些为数据模型与GIS的综合使用奠定了重要基础。

研究实践表明，城市规划空间分析是一种动态的空间决策问题，涉及动态性和空间性影响因素。GIS具有较强的地理信息处理和空间分析功能，但侧重于空间分析，其预测和综合分析功能较弱，而系统工程有丰富的非空间建模法及属性建模功能。因此，把两者综合起来，基于系统工程原理开发具有城市空间分析、预测和评价决策的应用模型，成为辅助城镇发展布局优化决策的主要途径和有效手段。目前，应用模型与GIS的集成主要有三种方式，即松散式(loose)、紧密式(close)和完全式(tight)，各有优缺点，通过简单的文件交换即松散式来实现应用模型、统计分析与GIS的连接是一种较容易实现的方法。另外，GIS除了完成空间数据处理与空间分析外，还是数据查询和灵敏度分析的有力工具，可增强可视化的直观效果(程建权 等，1999)。

3.2.2 城市与区域规划模型的类别

城市与区域模型的方法论可以概括为在计算机软件化的数学模型上进行各种分析、预测、模拟和决策。20世纪70年代末以来，城市与区域规划模型逐步成熟和完善，概率论、数理统计建模方法、运筹学方法、模糊数学、分维几何学方法等被广泛用于城市规划模型的构建。20世纪80年代末期以来，随着GIS、遥感、CAD、数据库管理系统(database management system，DBMS)、GPS、Internet虚拟现实等技术的发展，尤其是近几年数据挖掘领域的探索及数字城市与数字城市规划思

路的提出，为城市与区域模型的发展开辟了一个广阔的应用空间。当前城市与区域规划进入了一个以城市规划理论为指导，以 GIS、CAD、DBMS 等计算机软件技术和数学模型为支撑的新时代。在此，按照使用数据、采用的数学方法、应用领域、模型的功能等将城市与区域模型分为以下几类。

1. 数据统计分析模型

数据统计分析方法在城市规划中应用广泛，面对大量种类繁多的城市基础信息，往往通过数据统计模型获取数据分布形态、研究对象相互关系、研究对象的发展趋势及以此划分对象类型等。它主要是利用均值、方差、标准差、峰值等统计量来刻画城市与区域属性的空间分布；利用相关分析、灰色关联分析、回归分析等手段分析城市与区域要素的相互关联程度；应用判别分析方法、聚类分析方法、因子分析、主成分分析等进行城市与区域类型划分。

2. 城镇体系模型

城镇体系模型对辅助和指导城镇体系规划具有重要作用，有些模型已成为指导城镇体系规划的理论基础，如等级规模、首位度、专业化指数、吸引范围、城市化水平预测等，或通过模型分析区域之间各种“流”在空间的流向和强度，建立城镇体系中各城市间的相互作用模型，如单重力模型或双重力模型。该模型对城市规划的制定有重要指导意义。

3. 最优规划模型

最优规划模型是城市与区域规划中经常应用的一类数学模型。运筹学是模型建立的学科基础。在此，根据规划目标的多少可分为单目标规划模型和多目标规划模型；根据约束条件和目标函数的形式可分为线性规划、非线性规划、整数规划、0-1 规划等。其中最常用的是线性规划和多目标规划。

4. 规划用地评价模型

城市规划中，用地评价模型也是使用较多的模型，包括城市生态等级评价、建设适宜性评价、土地经济等级评价、城市用地等级评价等。评价模型可以用于规划方案的评价。综合评价模型方法一般包括模糊综合评价、因子评价、层次分析(AHP)等方法。

5. 系统仿真和预测模型

每个城市都有它的过去、现在和将来，在特定的历史条件下，城市有它特有的发展轨道，并为其未来发展奠定基础及给出限定条件。系统仿真模型主要是通过已有历史数据和相关参数的假设来模拟城市的运行和发展历程，研究城市运行动力和发展方向。既包括道路发展、人口发展等单一要素的发展仿真和预测，也可包括受多要素影响的城市整体发展模拟和预测，如城市用地发展预测等，可借助于回归分析方法、时间序列方法、自回归模型及现有的 CA 模型等。

§3.3 研究背景

3.3.1 模型提出背景

1. 城市发展面临的问题

20世纪80年代以来，在我国盲目兴起的“开发区热”、“房地产热”造成了巨量的土地浪费、资金沉淀及繁多的社会、生态问题，引起了国内、国际社会的强烈震动，以至于国家不得不在1997年和1998年断然采取全面冻结审批新增城市建设用地的措施。历史教训警示我们，必须切实加强对城市土地利用扩展的理论研究，提高对城市土地利用扩展的模拟、预测及调控能力，并制定具有前瞻性的、科学而连贯的城市扩展调控政策，以指导城市规划、土地开发等实践活动。否则，任何主观臆断性的决策均可能产生极为严重的后果。

2. GIS在城市规划管理中应用研究的广泛开展和逐步深化

GIS是综合分析空间数据的一种技术系统，它在城市规划中的应用也很广泛。但是多年以来，人们仅仅认识到它是一个管理空间数据的系统，而对基于其上分析应用却很少，忽略了对其庞大信息量的充分利用。空间数据挖掘技术的应用，可使GIS查询和分析技术提高到发现知识的新阶段，建立智能化的GIS系统，使GIS成为一种实用的空间咨询和决策支持系统。因此，借助于当前GIS空间分析及空间数据挖掘中的研究成果，很多人希望能把其应用于城市规划中。希望能够利用所提取的各类空间规则指导城市规划制作，使城市规划具有更强的科学性和指导性。虽然这仍是一个待探索的广大领域，但它对深化GIS在城市规划管理中的应用、提高城市规划管理水平具有重要意义。

3.3.2 遗传算法的发展及其在城市规划领域的探索基础

1. 遗传算法的发展及应用

遗传算法(genetic algorithms,GA)的思想由来已久。早在20世纪50年代，一些生物学家就着手于计算机模拟生物的遗传系统。1967年，美国芝加哥大学霍兰德(J. H. Holland)教授在研究适应系统时，进一步涉及进化演算的思考，并于1968年提出模式理论。1975年，霍兰德教授的专著《自然界和人工系统的适应性》问世，全面地介绍遗传算法，为遗传算法奠定了基础。遗传算法的发展高潮开始于20世纪80年代末，而且延续至今。人们对遗传算法兴趣的日益增长有两个背景：其一，工程领域特别是人工智能与控制领域，不断涌现出大规模的非线性系统，在这些系统的研究中存在着大量的经典优化方法所不能有效求解的优化问题，如神经网络连接权重及网络拓扑结构的优化、知识库的维护与更新等；其二，遗传算法

本身就是一种模拟自然演化这一学习过程的求解问题方法，它能以独立的或与其他方法相结合的形式用于智能机器学习系统的设计中。经过近十几年的努力，遗传算法无论是在基础理论上，还是在算法设计上，均取得了长足的发展，已成为信息科学、计算机科学、运筹学和应用数学等诸多学科所共同关注的热点研究领域。

2. 遗传算法在城市规划中应用的国内外研究状况

国内外的研究主要集中在城市规划中的用地优化配置上，通过用地的构成和空间关系确定编码方法和适应值计算方法，有些论述从理论上进行了探讨，有些论述则利用栅格数据进行空间配置操作实践。应该说，它们提出了遗传算法在城市规划中的应用思路。但是由于城市规划的动态性和复杂性，需要考虑的因素也很复杂，编码方式及适应值的计算方法也将对计算结果具有重要影响，因此，有必要结合城市规划本身的特点对城市规划的相关原理和理论基础进行系统的探讨。另外，城市空间生长对用地的选择也是一种用地选择优化过程，具有自然演化和自适应特征，适合遗传算法的使用，但是当前有关遗传算法在城市空间生长中的应用的论述很少见。如果能把遗传算法与城市空间生长结合起来，将是一个值得探索的方向。

城市规划涉及因素很多，在其基础上的量化分析也很广泛，但是人们一直希望能从空间分布的角度分析规划方案的好坏。本书中的模型借助数学手段，以 GIS 为实现平台，把遗传算法拓展到城市空间生长分析领域，旨在综合分析城市土地利用扩展的空间模式、动力机制及管理政策等，并通过借助于现代信息科技手段，促进城市规划定性、定量综合分析方法的实现，为城市规划学科探索新的发展空间。

第4章　城市空间生长原理及UG-GA模型建立基础

§4.1　城市空间生长的基本认识

4.1.1　城市空间生长是城市发展的一个基本过程

城市空间生长是基于一定条件的，而且涉及很多因素，是很复杂的，它是城市发展的一个基本过程，和某些特定的历史时期相关。任何一个地区在经济快速发展时期，都会遇到城市空间生长问题，因为城市在合适的经济环境下，具有吸引人口的动力，就有向外扩张的可能性，当城市没有吸引人口的动力时，也就没有空间生长的必要，也不会出现空间增长现象。城市空间生长其实是一个具有相对性的问题，在城市发展的某一阶段会表现明显，而在另一阶段，它可能并不是一个需要重视的问题，它只是城市发展的一个过程。

4.1.2　城市空间生长的主要社会经济指标反映

1. 城市用地规模增长

城市用地规模增长是城市空间生长最直接的表现，是人类非农业生产对土地使用方式的改变，但也正是由于城市用地增加，产生了人地矛盾，城市环境和土地的有效利用及城市用地布局才被慎重考虑。人们需要在城市用地规模增加的时候，考虑如何协调统筹安排城市空间，包括新增城市空间的选择及与原城市空间的有机融合。

2. 城市人口规模增长

城市空间生长的主要基础是人口增长，只有人口增加了，对居住、活动、服务的需求用地也才会成比例的增加，城市建设用地的增加才是持续的。尤其是对于城市化水平较低的发展中国家，城市人口增长也是国力增强、国家经济增长的体现，城市未来人口的预测将成为城市基础建设开发及很多相关指标预测的重要基础。

3. 城市GDP增长

城市的空间扩充是有潜在力量的支持的，虽然过程复杂，但根本动因是经济增长。因为在经济增长过程中，各种要素都很活跃，尤其是城市化初期，经济增加，才会带动产业结构的变化，带动二、三产业的增加，从而带动需求，带动城市建设和开发行为。

4. 城市固定资产投资扩大

城市固定资产投资是指建造和购置城市固定资产的经营活动，包括用于城市生存和发展所必须具备的工程性基础设施和社会性基础设施的投资，如能源供应、给水排水、交通运输、邮电通信、环境保护等工程性基础设施及文化教育、医疗卫生等社会性基础设施。充裕的城市固定资产投资为城市实体建设提供了强有力的支撑，增强了城市建设的投资拉动作用，加快了城市建设发展。

4.1.3　城市空间生长的两面性

城市空间生长在城市发展过程中既有它积极的一面，也有它消极的一面。单独地看，城市二维方向扩展满足了不断增加的城市化水平的需要，在一定程度上促进了城市用地合理性布局，而城市三维空间扩展则减少了城市对有限土地资源的占用，缓解用地紧张的矛盾。如果二维和三维方向综合部署，合理组织和规划，则有利于城市内部用地挖潜和土地的集约化使用，提高土地利用效率，在同样的用地内容纳更多的城市要素，达到紧缩城市的作用，同时如能有效控制或缓冲交通堵塞问题，解决相关的环境保护问题和整体生活质量等问题，城市就能做到“精明增长”和“可持续发展”。

但从反方面讲，城市空间扩展本质上是人口增加所导致的人类活动的增加，在城市建设开发过程中，很有可能出现对自然生态水面和农田的占用、破坏及城市内建筑密度过大等问题，从而导致城市内绿色空间减少、生活空间闭塞及生态环境的破坏，并且城市开发强度越大、人为投入越大，对环境的改变、破坏就越大，环境就越难以恢复。

4.1.4　城市空间生长的多维认识

城市空间是一个立体的，包括二维和三维两个方向，其中，城市二维空间的扩展，主要体现在用地的扩大，可以包括城市内任何类用地，如居住、绿地、道路和工业等各种用地，甚至于未开发的夹杂空地，而三维空间扩展主要体现在那些可以以建筑为载体向三维空间延伸的用地，如休闲、娱乐、居住、办公等用地。在此，建筑实体密度和层数的增加就是这些用地三维空间扩展的主要体现，这种三维扩展不会带来用地功能的使用障碍，反而能够更充分地利用三维空间，以容纳更多人及其他城市要素。因此，城市空间生长不应只简单理解为二维方向的扩展，它包括二维和三维两个方向，并且它们既相互区别又相互联系，我们除了看到二维空间增长和三维空间增长所具有的独立特性外，还要综合考虑两者之间的联系，考虑二维与三维空间增长的相互渗透及相互影响，以便完整、全面地考虑城市空间扩展问题。多维城市空间生长的存在使得城市空间生长过程变得更加复杂。

总的来说，城市多维空间生长蕴涵着复杂的城市有机更新过程。其中，城市三

维空间扩展，主要是基于城市内人口容量的增加及旧城改造、城市内部有机更新所导致的城市内部空间的变化或增加。随着社会经济的发展，城市发展速度加快，城市规模不断扩长，为了解决城市中心地段遗留下的交通、居住等问题，改善原有落后的居住环境和生活条件，同时为了最好地发挥中心地段的城市土地效益，很多城市政府和开发商合作对城市旧区进行有序地、分片地改造或重新建设。而在重新开发过程中，由于城市自身发展需要及开发商对利益的追求，用地的开发强度往往会强于以往用地，使得旧城地区的改造必然使城市空间向三维方向拓展。而二维方向的扩展有时也不是片面的城市向外延伸。当城市向外扩展时，城市用地也往往在进行着土地的置换，导致城市内用地的调整和用地性质的变化，所以城市二维增长也是城市有机更新的一个表现。

4.1.5 当前城市空间生长的主要表现——二维城市空间生长

城市空间是城市设施和城市人口相对集中的区域，一个城市在自身发展的不同阶段表现为城市总体规模的扩大、缩小及二维和三维空间的扩展或萎缩。其中，二维城市空间生长是城市空间增加的最直接表现，也是土地使用矛盾的直接体现。一般在城市生长过程中，人们也往往首先关注和重视二维平面扩张的分析和研究，如美国的郊区城市化模式，就是外延化的二维平面扩张，是以大量占有肥沃的农田及能源的浪费为代价的，以至于人少地多的美国都感到耕地减少的威胁。而我国近几年来，城市化水平呈大幅上升趋势，目前已超过发展中国家平均城市化水平，在我国城市化进程中，城市用地明显地向外扩张，而且还有继续向外蔓延的趋势，因此二维城市空间生长在我国仍会在较长时间内存留。但是当城市发展到一定阶段，尤其是在人口密集区域，城市二维生长将会被另一种生长方式所代替，既城市扩容或三维城市空间生长，如瑞士和日本在城市扩张后期，就靠努力提高土地集约度，走立体化、高密度、紧凑式的城市空间发展道路。

§4.2 城市空间生长的内力和驱动力

4.2.1 城市空间生长的基本动因

城市空间生长表现为城市空间的扩展和蔓延，这种扩展和蔓延的根本来自于城市社会经济的全面发展所导致的城市人口的增加及相应的用地规模的增加。从经济学角度分析，这种空间外展的根本动力主要来自对外服务的基本产业项目。由于对外服务基本产业项目的发展导致城市人口增加，由于基本产业的建立和发展，从输出产品和劳务中获得的收入增加，收入的一部分导致基本就业部门的职工增加本地消费和需求，也就导致了本地基本就业岗位的增加和收入的增加；城市基

本就业项目的增加必然提供新的就业岗位，吸引城市域外人口，带动首轮的居住增长，城市人口的增多，必然带动商业活动的增加，一个消费空间便相应形成；这一消费空间促使新的企业如商店的出现，壮大了产业空间，又提供新一轮的就业岗位，从而带动新的人口增长，进而形成更大的消费空间……如此循环，城市规模便不断扩张了，因此城市基本经济活动是城市增长的基本动力。

经济发展的周期性变化决定了城市空间扩展形式的周期性更替。城市自产生之日起，空间的扩展几乎是任何城市都概莫能外的。只不过是在不同经济发展阶段、不同历史时期、不同城市的空间扩展方向、形式、速度及表现出来的特征各不相同而已。只要考察一下工业革命以来世界各大城市在不同时期的空间扩展情况，不难发现，城市空间的扩展并非逐步均衡地向外推进，经济发展速度对城市扩展速度具有重要影响，不同的发展时期，城市空间扩展的速度、特征、方向和形式表现出很明显的周期性特征。城市扩展的节奏性变化，与国家及城市经济发展的节律十分吻合，它是随着经济发展的波动而变化的。当经济处于高速发展阶段时，带来实际收入水平和城市建设投资的增加，促使了城市空间的加速扩展，主要表现为建成区范围的外延式水平空间扩展，城市用地呈松散状态；当经济稳定增长或缓慢发展时期，城市空间扩展转为内涵式垂直空间扩展，其特征表现为城市转向以内部填充、改造为主，建筑密度加大，紧凑度明显上升；而经济发展的停滞则将导致城市空间扩展的停滞。这充分说明，经济发展对于城市演变起着关键性的作用。

4.2.2　经济发展、工业化、城市化与城市空间生长

经济发展过程中的城市产业集聚和产业结构演变一直是城市空间扩展的直接动力。产业结构的演化是经济发展的动力和活力，正是产业结构的改变给城市经济发展注入了新的内涵。工业化是城市经济发展的阶段性标志和里程碑，是城市经济发展因素的主要表现。在工业化过程中，各种生产要素在集聚效益和规模效益的驱动下，逐渐向城市或其他有利区域（以后也发展为城市）集中。城市所具有的规模效益和聚集效益使之成为工业经济所必须依赖的物质载体。同时，工业门类增多和生产规模扩大、导致了产业集聚空间的扩大，为庞大的农业剩余劳动力提供了就业机会，大量的农业剩余劳动力也随着工业化的进程逐步置身城镇，随之而来的是城市用地总规模的不断扩大与城市空间的扩展。随着城市经济向工业化后期迈进，城市功能由生产型向管理型和服务型转化，以工业为主的城市产业结构渐次演变为以服务业为主，城市生产性服务业和生活性服务业蓬勃发展。在地价杠杆作用下，城区工业在地租上涨、生产成本提高的压力下，纷纷外迁，市区工业用地渐为服务业用地所取代。城区工业外迁，相配套的居住区、基础设施也接踵而至，带来了郊区城市化、掀起了城市空间扩展的又一次高潮，所以，经济发展过程中的城市产业集聚和产业结构演变，成为城市空间扩展的直接动力。

城市化是城市发展的根本的、全面的概念化，它蕴涵了城市发展中的人口、用地、规模、水平等多种发展因素。是对城市发展的一种科学的、理论化的总结。从本质上说，城市空间扩展实际上是城市化进程的一个方面，是农村地域景观的城市化过程。社会、经济和科学技术的进步促进了城市化的发展。城市化最主要的标志是城市的人口规模和建设范围空前扩大。目前，我国的城市化正在以其他国家空前罕见的速度进行。吴良镛院士指出，发展中国家城市发展势头迅猛，在未来25年里，中国城市化率将从1999年的30.9%增长到2025年的55%左右，城市人口将从1999年的3.89亿增加到2025年的8.3亿～8.7亿。在城市化的中前期阶段，由于大城市、中等城市、小城市、农村的经济发达程度及社会生活水平的巨大差异，农村人口及小城市人口在流动过程中必然首先向大城市集中，或者向比较好的中等城市集中，使得大城市逐步发展为特大城市，中等城市发展为大城市。因此，大城市化是城市化的中前期阶段不可避免的现象。

§4.3 城市空间生长机制

4.3.1 城市空间生长机制分析

1. 生态学"自然竞争"机制

20世纪初由美国的帕克(R. E. Park)、沃思(L. Wirth)为代表的"芝加哥学派"，应用生态学原理对城市结构的形成、演变做了研究，他们认为城市的基本特征是人口的集中与土地的集约使用，城市是人类种群的栖息地，城市土地利用的增长和区位过程是自然的，不同社会属性、不同经济地位的城市人都以自己的实力竞争最合适的生存空间，这种力量是天生的，并且竞争导致演替，进而形成相对稳定的城市空间结构(赵晨，1997)。美国的雷伊(L. Roy)认为城市形成和发展在空间分布上的变化有六个过程：

1)集中(concentration)

在城市发展初期，具有有利位置、优越自然环境或其他条件的地区，人口集聚日益增多，同时使人口、建筑物密度增大。

2)核心化(centralization)

集中过程开始后，随着人口增多，功能和产业在某点相对集中，机能集聚产生效益。

3)分散化(decentralization)

当集中达到一定程度后，过大的人口密度使集聚优势转化为劣势，人口、产业向外围疏散以取得较好的生产生活条件，使城市出现向外围扩散的趋势。

4)隔离(segregation)

在城市发展过程中，城市中由于文化、种族、职业、收入的差异，使具有相似属

性的人群相对集中于某特定区域，集团间彼此分化隔离。

5）侵入（invasion）

在分化的同时，竞争使某种人群或功能所占据的地区为另一类人群或功能渗透并共存，产生社会形态或空间结构的变化。

6）演替（succession）

当力量足够强大时，某种人群或功能通过竞争取代另一类人群或功能，城市结构将可能发生演替。

雷伊理论的前三条指出了城市形成的特征，后三条概括了城市结构演化的特征。

2. 市场机制

在自由经济条件下，那些以追逐收益为目标的商业实体对土地和区位在地产市场上的竞争构成了城市土地扩展的主要内在驱动力。这里包括城市房地产开发，企业的创建、扩大、外迁等城市建设活动。城市土地扩展的空间结构是市场经济下自发的市场力和竞争性投标过程的结果，它们的区位选择受制于以赚取利润为其基本动机的商品社会生产方式，如美国的戴蒙德（H. Diamond）认为城市用地扩张是单一的个人和单独的城镇政府出于各自利益而决策的结果。因而，经济区位模型重在模拟各种经济市场要素如人口、经济收入、交通费用、资本利率等的历史趋势与城市土地利用扩展之间的内在联系（刘盛和，2002）。

3. 社会价值机制

社会价值和社会发展对城市空间生长的影响是多方面的。它与人们的日常城市行为有关，人们日常城市行为与城市空间相互作用使城市土地利用方式发生变化。人们日常活动的动态性使城市土地利用处于动态变化中；不同的收入层次、家庭类型及种族、少数民族使城市出现一定的城市分化和分区。社会学家强调从主观性—意图意向—价值标准—环境情感联系的角度认识城市土地利用扩展的动力，土地利用变化是社会各阶层、团体和个人相互竞争协调的过程。例如，由于长期城乡差别，在中国传统社会心理中，“城市人”常意味着一种身份和富裕的生活，代表着文明和进步，导致城市核心区人口外迁的困难和城市人口膨胀的强大压力。

4. 政治权力及政策机制

政策因素包括城市规划、城市土地有偿使用制度实施、土地批租、企业郊迁、住房制度与棚户籍制度改革等。政治权力的影响使城市发展过程中人为因素增加，受制于特定的政治经济结构和社会生产方式，不同社会阶层和类型群体在土地利用的决策与开发过程中的影响力和权力是有差别的。而对于不同的城市，政治权力和政策在城市发展过程中的作用强度不同，在我国历史上政治权力干预多的城市，其城市空间形态表现规整；反之，空间形态表现自由。因此，政治权力机制可以看做是城市土地利用变化的内在动力机制之一。虽然政治权力作为人的主观意识活动对城市空间发展具有一定的影响力，但它却是以城市这个客观存在为基础，不

能脱离城市发展的实际情况和所具备的客观条件。

5. 技术进步机制

在科学技术快速发展的今天，技术进步带来的城市结构的变化不能忽视，结构主义研究已经注意到经济结构转型和技术进步对土地利用变化的影响。尤其是信息网络技术的发展对城市土地利用变化的影响，与我们的生活也息息相关，因此这正在成为一个新的研究热点。美籍西班牙社会学家卡斯泰尔(M. Castells)提出了"信息城市"(informational city)的概念。美国的朗科尔(T. R. Longcore)和里斯(P. W. Rees)通过对纽约曼哈顿地区的研究得出结论，信息技术的发展极大地改变了城市中心商务区的区位特征，许多大金融机构从该区迁到城市边缘，一些街道只担负着后方办公(back-office)的功能。技术因素改变了传统的用地选择行为，它使交通和通信成本相对于土地成本更便宜，促进企业外迁或新建企业在郊区分布。目前，我国大城市的科技发展水平越来越高，人们也开始降低对距离的需求，更多地注重环境及价格因素。技术进步改变了原有的城市用地扩展模式，这是信息社会所特有的现象(杨荣南 等，1997)。

4.3.2 个体空间行为与空间格局的形成

城市空间生长是在城市经济增长驱动下，城市各种要素空间相互作用的结果，城市空间生长过程也是城市空间格局形成的过程。要想掌握城市空间生长的脉络，必须从城市空间的发展结果探究具体的生长行为。其实，空间格局、空间过程和空间行为一直是经济学、社会学、区域科学和地理学研究的重要内容之一。而城市空间生长过程也是涉及经济、社会、地理众多因素，对于城市的空间生长，我们不仅要清楚城市生长过程中各空间生长要素本身的位置及其几何排列，更重要的是明白形成这一分布和位置排列的各种人文和自然过程，了解和研究空间格局形成的空间动力学机制，探究空间行为与空间格局之间的相互关系(如图 4-1 所示)。

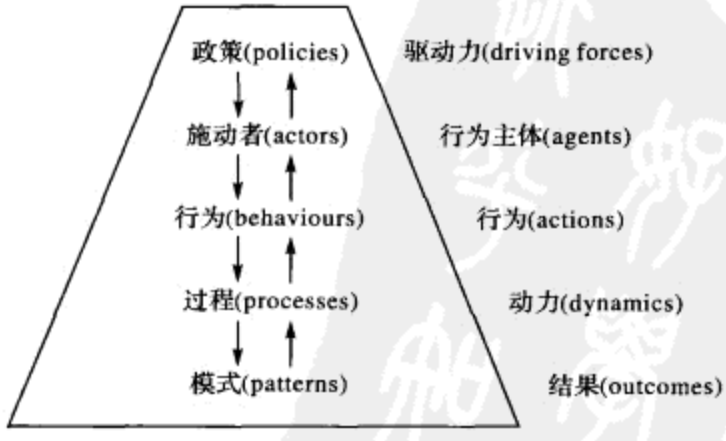


图 4-1 空间格局的形成过程

1. 个体空间行为塑造了空间格局

空间行为是指人本身的社会经济生理特征(如需求、价值、感情、预感)与特定行为环境可感知的外部因子相互作用而产生的活动流,人类个体通过价值系统对环境形成映象,然后作为对环境的作用决策(陈述彭,1999)。个体空间行为聚集而成的过程才创造了空间格局,如城市的同心圆格局正是由个体空间竞争、选择、排斥等行为聚合而成的过程所创造的。由于系统资源有限,环境容量在一定时空范围的分布及质量是不均匀的,导致个体发展能力也是不同的。美国的地理学者沃尔帕特(J. Wolpert)曾指出,要想充分理解迁移流,必须考虑个体认知的一系列地点(作用空间)和地点对个体的需要性和有用性(地点效用)、决策者的动机与目的,以及决策者所处的生命周期。

2. 空间格局影响空间行为

空间格局与空间行为之间的影响是相互作用的,空间行为促进空间格局的形成,反之,空间格局也会影响到空间个体行为的产生。空间行为本身不只受个体社会、经济、生理特征共同决定,更主要的是空间格局要为个体行为的产生提供条件,正是空间格局的异质性和差异性才产生了个体空间选择行为的差异性。显然,均质的、没有差异的地理空间格局将使同类个体空间选择没有差异。对于开放的城市系统,不断与系统外界进行着人流、物流、能流的交换,城市空间差异是永恒的。空间格局虽然是个体空间选择的外在环境,但却是提供选择的基础条件,空间格局的改变必须使个体空间选择行为发生变化。

空间格局的形成在某些时候是自然形成的,但是这种自然发展有时是盲目的,只考虑自身利益的,而规划管理上的控制是理性的,它能保证城市向理性的方向发展,因此规划管理在宏观上和微观上都或多或少地控制着城市的空间格局。应该说城市空间格局的形成是不同类个体在空间定位上相互作用的、不断变化的过程。我们可以从两方面分析:一是个体对空间位置条件和周围环境的需求;二是各类用地之间相互关系的协调,如相邻用地对绿地水体、基本农田的保护,或者通过空间的合作关系促进经济效益等。

4.3.3　城市空间生长主体

工业用地和居住用地是城市空间生长的主体。其中,工业用地增长主要包括城市中心区工业外迁及新工业区开发。由于城市建设快速发展,城市中心地区或区位优越的地区,其第三产业职能会不断强化,工业区逐渐因各种原因向外扩展和迁移。同时由于置换代价高昂,因此用地单位纷纷将目光投向了近郊,围绕着城市周边进行选址、开发、建设,城市范围逐渐扩大。在集中城市化阶段,企业是引导城市发展的主要因素(朱磊,2002)。

而居住区不断扩大,主要指由房地产商开发或某一单位群体统一开发后的分

散化阶段(郊区化和逆城市化阶段)。主要包括主动性扩展和被动性扩展,主动性扩展指居住小区(新村)的建设、近郊区商品住宅区建设、城市空间置换、居住用地带动公共建筑用地的扩展等,被动性扩展主要指居住用地随工业或其他用地的扩展而扩展,以及在发展工业等非居住用地时,为了方便生产生活和配套建设而形成的居住用地。在我国城市中,居住用地按居住组团、居住小区、居住区三种规模等级来综合安排,既可以用城市内零星的小片土地,也可以在城市边缘进行大规模的建设开发。

§4.4 城市空间生长的主要方式和模式

4.4.1 城市空间生长特征

城市空间生长具有一定的共性:

(1)从城市的扩展形式上讲,无论用地如何扩展,城市用地扩展的基本趋势,就是以旧城为中心,由内向外、由小变大、由单一结构向多元结构的趋势不断发展。

(2)从城市的扩展过程上讲,城市发展的离心与向心、扩展与集聚往往交替进行。城市发展过程,是一个经历城市用地的集中和分散的过程,而且是一个循环过程。

(3)从城市的扩展机制上讲,城市演变过程存在着不同的历史阶段,有着不同的社会经济特点和动力机制,同时也受到人为的政策因素的影响,发展条件是很复杂的。

(4)从城市扩展中土地利用特征上讲,不论是在市场体制下还是在计划体制下,城市土地利用都在"同质结块"的特征下有效结合。

4.4.2 城市空间生长过程分析

城市空间生长涉及众多要素,生长过程复杂,在经济发展缓慢的城市化初级阶段,城市空间扩展有限,甚至于没有变化,但是一旦进入经济快速发展阶段,城市化水平也将有一个快速增长过程。在此阶段,城市空间生长必然出现,并且一般会表现为两种态势:一种在城市内或城市周围某一位置出现某一生长极,城市建设用地将来会依靠该生长极逐步扩大,就像种子逐渐生枝发芽一样;另一种是自生长式,即以母体为本,在经济稳步发展的背景支持下,母体逐渐壮大。在城市空间生长过程中,这两种方式一般同时存在。

但从另一角度来看,在城市某一发展阶段,城市空间生长是一种反复循环过程,既每一个生长要素可能具有双重身份,一种身份是某一生长极或城市母体支持下生长出的城市要素,是被吸引对象,但同时它又具备另一种性质,即它会为其他要素的生长提供了可能的环境和条件。由于新的要素的不断产生,使生长环境变得逐渐复杂,在生长要素不断积累过程中,这种环境的改变也反复出现,从而导致

对生长环境的考虑也是一个循环不断的过程，即下一次生长总要考虑上一次生长构成的新的环境和约束条件。

因此，我们可以看出城市空间生长是由城市用地单体发展聚集而成的，并且城市空间既为个体发展提供条件，又被个体发展所影响（如图 4-2 所示）。在城市个体生长过程中，总有些政策优惠、地形平整、生态环境良好的优势用地先发展起来，这些首先发展起来的用地对原环境会有不同程度的影响。根据其自身规模的和影响力的大小，有些个体生长对城市空间整体生长起到量变积累的作用；有些个体生长，例如城市开发区的建设或重要基础设施及高速公路建设等，则有可能成为城市空间生长的新生长极，从而影响到未来的城市发展的方向和用地结构。同时，个体的发展会不断地影响或带动着周围用地的生长，使城市空间不断扩充或发生变化。

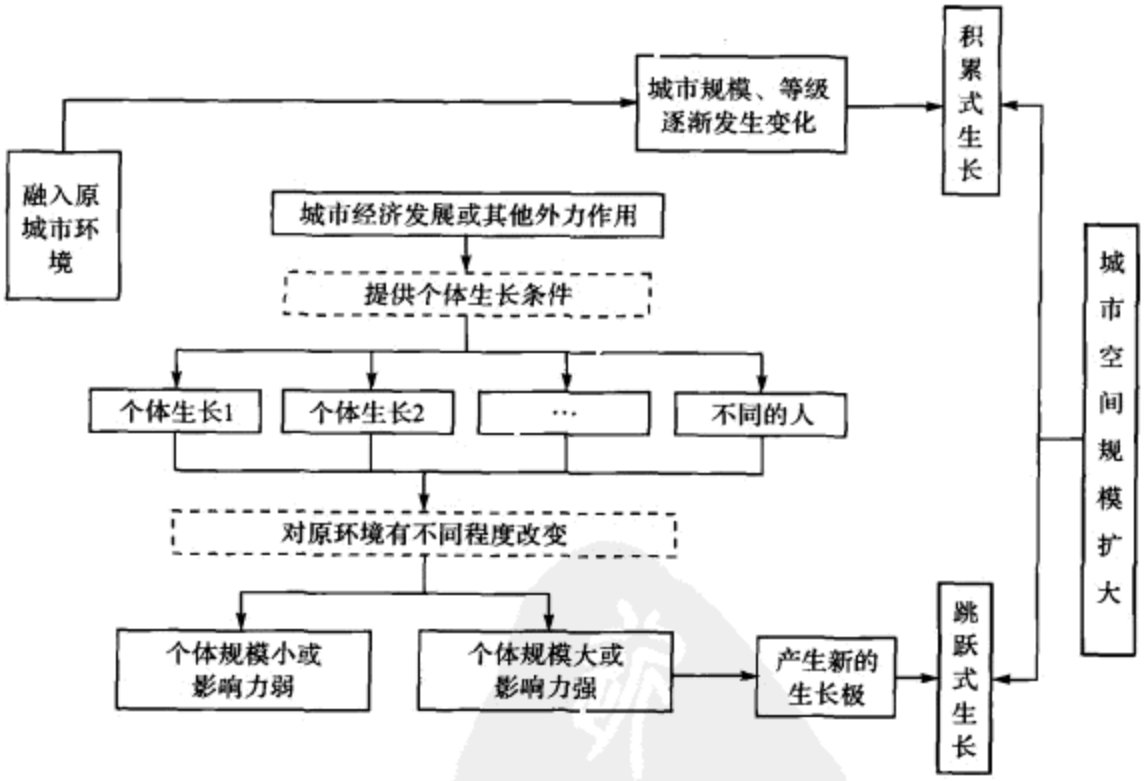


图 4-2　城市用地空间发展模型

在城市空间生长过程中，城市用地个体发展不是任意的，城市用地个体之间需要保持相互之间的关联性和整体协调性。也就是说，城市用地在生长过程中，既要满足个体生长需求，也要满足整体的协调发展，两者缺一不可（如图 4-3 所示）。个体生长条件的满足是根本，整体协调性的满足是条件，缺少任何一项都不行。虽然有这些要求约束，城市用地生长仍会具有不确定性，因为还存在用地组合的多样性和用地选择判断的不确定性，还有城市发展的多目标性等原因。

个体生长需求和整体协调性控制是相辅相成的，并不是完全对立的独立过程，

个体需求满足的城市整体发展才是真正的协调发展，而且个体生长保持与周围环境的协调也是个体自身生长的需要。在一定程度上，个体生长过程中也一直在考虑和周围用地的关系并自然地保持与周围用地的协调，而同时，整体的协调性发展需求和控制也为个体发展创造了一个更有利的生长环境。也就是说，在探讨城市空间生长时，要考虑到城市空间生长是一个基于个体生长的整体协调发展的过程。

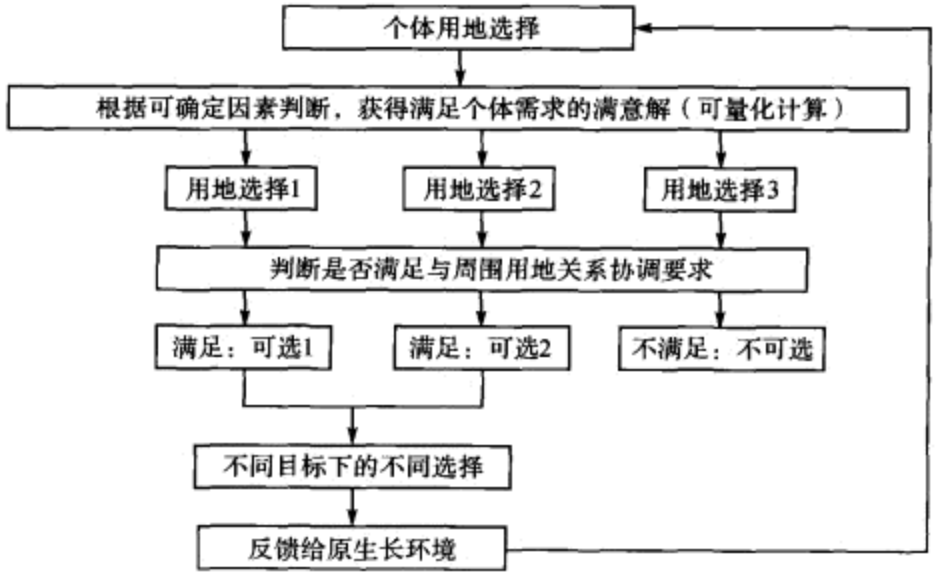


图 4-3 个体生长的空间协调性需求

4.4.3 城市二维空间扩展模式

大都市的外向扩展，是指大都市向周围地区蔓延或依附于城市本体成块状向外形成环状或块状城市地区。根据它与城市核心区的关系，具有以下三种典型类型，如图 4-4 所示（姚士谋 等，1995）。



(a) 轴向扩展　(b) 渐近式扩展　(c) 飞地式扩展

图 4-4 城市空间生长的典型模式

1. 轴向扩展

城市边缘区的轴向扩展，是指城市用地沿一定方向扩展形成比较窄的城市地

区。它的发展不管是自发形成的还是有意识地规划建设，都是依附于城市本体，向周边地区进行辐射扩展。其主要为沿主要对外交通线呈带状扩展的模式，或多方向的交通走廊式的空间扩展形式。如无锡市外围形成的多个发展轴，如图 4-5(a)所示，它是由交通沿线具有潜在的高经济性所决定的，也可能受地形地物的限制。另外，沿轴线扩展是解决城市新开发用地与中心城区交通联系的有效方式之一。轴向扩展模式具体又分为如下三种类型。

1)工业走廊模式

在城市边缘区的内缘区，一些对交通线路依附性强的工厂、仓库沿公路和河道自由或按规划建设，连续地向外延伸，形成由许多工业部门组成的“轴”向走廊。此类发展模式大都是城市工业迅速发展时期形成的，城市的核心区有着强烈的内聚力，上下班人流具有明显节律性特征。如南京市西善桥—小行地区，南北相距 7 km，沿宁芜铁路、公路呈串珠状分布着 12 个小型地方企业。

2)居住走廊模式

在城市边缘区入城干道两侧，由于近郊地区基础设施的延伸，城市规划和建设部门也利用这类优势沿线布置生活居住区，形成具有相当规模的居住走廊。如广州市在广州—深圳高速公路建设的同时，规划建设了沿广深公路两侧、西自黄埔东至南岗约 10 km 长的生活居住走廊。另外，一些中小企业沿交通线布置后，距城市核心区较远，为了解决部分职工的居住问题也沿道路两侧建设一部分职工住房。在城市边缘区进入城市主干道旁经常看到独户住宅、开发规划的住宅小区、别墅区等成组排列。而在外缘区，由于大城市间快速通道的建设，其两侧也成为交通设施、服务业外向延伸布局的主要地区。

3)综合发展轴模式

在城市边缘区的工业和居住沿轴线发展的同时，可以针对发展条件较优越的、潜力较大的发展轴线，综合规划城市建设的各项基础设施，使单项发展轴变成多项综合发展轴。这种布局模式和单项发展走廊相比具有的优点是：土地综合利用、生产和生活统一安排，职工上、下班方便；能够根据城市规划要求统一进行布局，建筑密度较合理；有利于城市化过程。在大都市外围沿发展轴就近布局居住和就业岗位形成沿轴向的综合发展走廊，如常州市沿大运河、沪宁铁路连续布局工厂、断续布置居住小区，形成西自新闸东至威望堰约 20 km 长的东西向城市发展轴。

轴向扩展模式可以充分利用交通带来的经济效益，但是端点至端点的交通连通性困难，集约性差。

2. 渐近式扩展(外延)

1)集中型同心圆式扩展模式

集中型同心圆式密集向外扩展是我国大城市空间扩展的典型模式。这种模式发展的基本条件是，城市地处在平原地区，城市四周用地条件较好，它以已形成的

主城区为核心向外分层扩展。如上海市空间扩展部分成圈层模式，如图 4-5(b)所示，第一圈是新建的长白、控江、广灵、天山、虹桥等居住区；第二圈为五角场、彭浦、湾河泾等近郊工业区；第三圈是新建和在建居住区。每发展一次就向外扩大一圈，俗称“摊大饼式”的扩展。与其他模式相比，这种模式的推进速度比较缓慢，并主要受经济发展速度制约。在诸模式中，这种模式使城市紧凑度高，定型性好，充分利用城市公用设施和生活福利设施，且可能获得较高的集聚效益。但城市的空间扩展达到一定程度后，如再按此模式继续扩展下去，将会引起一系列城市问题。

2)低密度连续蔓延模式

低密度连续蔓延模式是一种无秩序、无计划的随机性空间扩展方式。这种扩展方式没有明确的城市用地发展方向和功能分区，城市用地扩展盲目，土地利用率低。形成这种局面的原因主要是城市土地市场不健全，城市空间的扩展不是受土地价值规律的调节控制，而更多的是政府行政划拨各类用地所致；同时，城市缺乏有效的规模管理控制。

3)轴间充填式

这类大都市沿主要交通线形成两条以上的指状，当指状体增长到一定程度时，指状体之间横向联系加强，其间的犄角形或梯形空间逐渐被填充。当建成区为“密实”地区时，城市又开始向边缘地带扩散形成新的指状增长轴，进入新的一轮增长周期。

渐近式扩展模式可以充分利用原有城区的公共服务设施和基础设施，减少投资，增加集聚效益，但是随着城市的规模逐渐增大，将出现交通阻塞，环境污染等问题。

3. 飞地式扩展(开发区、独立式)

1)自然型飞地

随着经济增长及产业结构演进的阶段性发展，城市空间的演化和扩展成为一种必然趋势。当城市规模扩大到一定程度时，外围地区与城市中心的联系强度降低，联系阻力超过联系强度或职能上产生冲突，就会在外围选择适当地区建立新市区，从而采取跳跃式的城市空间扩展，呈现一种空间间隙式布局模式，以达到控制城市无限蔓延和改善空间环境的效果。

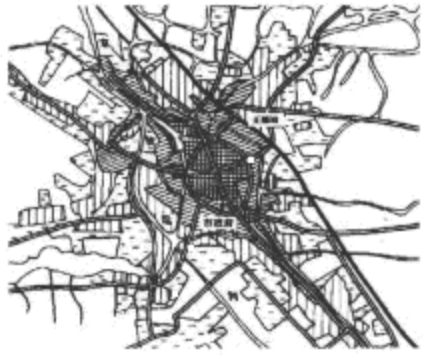
2)资源需求型飞地

由于大型企业、城市开发区等对资源和建设条件(如水、电、港口等)的要求，一般选择脱离市区、独立发展的建设模式。这样，使城市边缘区既表现为大片土地开发，又与市核心区相分离；随着开发的深入，有着大量的资金投入，不断完善基础设施，必然形成较为完整的城市生活服务设施；再不断壮大而成为卫星城市，形成围绕一个城市中心在附近地区形成“一城多点”，分散发展的城市布局模式；也可以在资源点形成城市“飞地”后，建成“飞地”与母城间的快捷联系通道，再沿通道两侧发

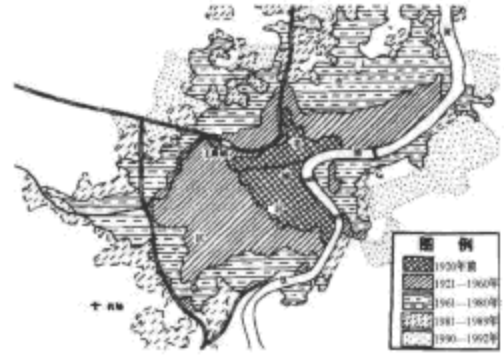
展形成指状增长。

3)政策导向型飞地

当城市发展规模扩大到一定程度时，连续式扩展方式常由于地理环境和其他因素而无法继续进行，城市用地便会普遍选择新的增长点，并逐渐培育成为新城区或城市副中心，形成与中心城区相距一定距离的地点跳跃式地发展，或形成卫星城镇。这种扩展方式通常是在人为的规划指导下，有计划地成组、成团向城区外围分散。这种新区开发模式使城市发展由“单一”态势引致城市用地多核心化格局，有益于缓解城市中心交通压力、人口密集、基础设施超负荷等问题，从而使城市结构更为合理。这种模式是我国一些大城市规划中为解决或避免“城市病”而采用的常用模式。城市空间生长过程中飞地的产生也往往不仅受制于一种模式，可能是多种模式的结合，例如厦门城市空间扩展的飞地模式，如图 4-5(c)所示。



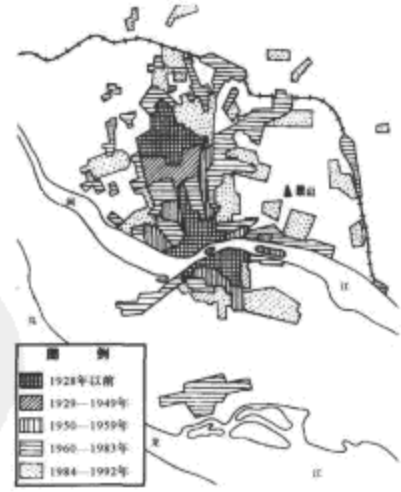
(a) 无锡市城市扩展



(b) 上海市城市扩展



(c) 厦门市城市扩展



(d) 福州市城市扩展

图 4-5　城市空间扩展样例

飞地式扩展模式可以充分结合和利用自然条件，节省因离资源远所造成的大

量交通费用，但可能会出现城中村问题，并且增加了飞地与老城之间的交通建设工作量。

4. 多模式综合扩展

城市空间扩展方式是非常复杂的，用任何具体模式几乎都无法全面地概括，即使对同一个城市而言，在不同的时期，其扩展模式往往也不尽相同，常常是几种模式交替演变。因此，大多数城市的发展并不是简单地表现为一种模式，而是多种模式的综合体现。例如，很多城市增长在某一时期以一定模式发生，但一般都经过几个时期。首先是触角期，在这一时期，借助于城市对外交通路线或国家重点建设项目，存在一系列城市空间扩展推动力，即在城市边缘区的快速交通沿线或重点投资工业区周围形成一些外展触角，它们由新居住区、工业区、交通枢纽等组成；然后是分散组团期，由于城市边缘区菜地等用地保护、环境美化或其他要求，城市用地有选择地发展，对于大型工业项目和城市基础设施的远郊建设，逐步形成分散组团空间结构；最后城市发展向密实阶段发展，既逐渐填满分散组团间的可利用用地，使城市发展成密实的带状或块状形态。

对于不同城市，由于历史原因，其影响因素侧重点不同，或根据每一个不同的地理位置、自然条件和城市发展方向，其城市空间扩展的模式是不同的。对于城市土地利用扩展模式，究竟采用哪一种更经济、更少付出代价，迄今尚无定论。英国经济学家斯通(P. Stone)从不同的角度，试图用最准确的数据，综合分析不同发展模式的费用，而英国的规划学大师霍尔(P. Hall)和英国的鲍恩(L. S. Bourne)两位著名学者差不多在同一时间内对这些研究进行了评述，都认为不可能得出一个可以被广泛接受的结论。不过，鲍恩认为，对紧凑发展形态的支持越来越多。

4.4.4 城市多维空间生长分析

1. 二维、三维空间生长的相互制约关系

城市二维空间增长主要体现在城市向外围扩展时对用地的选择上，而三维城市空间生长是在二维空间位置确定后的立体空间扩展过程，它们所考虑的空间增长因素有所不同，虽然二维与三维空间扩展具有一定的独立性，但它们之间的关系也很明显，它们是同时进行、同时存在并相互作用的，其实它们是一体的，因此，我们不能独立地、分开地考虑二维与三维增长过程。在此，它们之间的相互制约关系主要可以表现在以下几点。

1)二维平面上用地性质的确定决定了三维空间的可能发展形式

城市三维空间扩展必然驾驭于二维空间之上，讨论三维增长是以二维空间特性为基础的，在城市开发建设中，二维平面上的不同用地性质决定它三维空间的可能发展形式，包括建筑的形式、建筑的高度及用地开发强度等。例如，绿化用地的建筑一般为构筑物，而且用地开发强度很低，而居住和商贸等用地则是人类生活及

活动的集聚空间，其开发强度往往也最大。同时，用地位置确定以后，该用地周围的环境也就确定下来，它和其周围用地的关系也对三维开发形式有一定影响。因此，在城市开发中，在进行二维用地选址时就应考虑到三维空间增长的需要。

2）二维空间大小圈定了三维空间的活动范围，确定了三维空间的开发强度

二维空间不仅确定了用地的的空间位置，也确定了基于其上的空间活动范围，这使城市用地开发必须在有限的范围内处理好国家标准所要求的各种空间关系，包括三维空间扩展必须满足的日照与安全等标准，因此在一块已确定的用地内，其三维开发强度越大，二维空间保留的就应该越多（如图 4-6 所示），否则，城市的生活环境将得不到保证。而在满足了日照等基本要求后，三维空间扩展就可以考虑城市景观效果及相关保护等方面的需求。

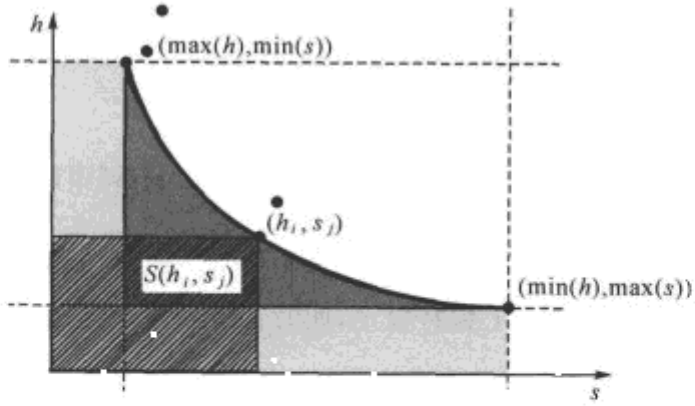


图 4-6　固定用地范围内建筑高度 h 与建筑面积 s 的关系

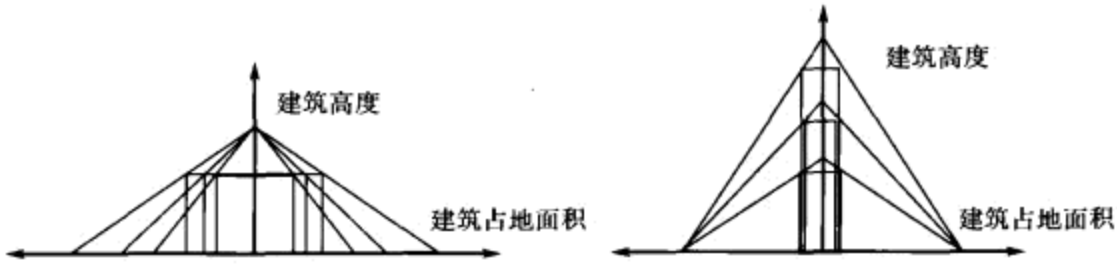
3）三维空间的发展强度影响着二维空间的稳定性

三维方向的增长必然要涉及城市内部用地的重新组合，在城市规模不断扩大的情况下，这种城市的有机更新将使城市空间在不断调整中向三维方向扩展。在向三维方向扩展时，三维空间增长越大，开发强度越大，对二维空间的占用越强烈；为了满足日照和消防及生态绿化等要求，对外围二维空间环境的需求越大，或对其周围的低强度开发空间需求越大。为了保证它与周围用地之间的功能关系协调或景观需求，其周围用地调整的可能性将增大，因此，三维空间开发强度的增加将影响二维空间的稳定性，即三维空间的增长有可能导致周围环境改变，进一步导致二维平面用地组合的变化。

2. 城市多维空间生长方式分析

如果单纯地理解城市空间生长，可以狭隘地理解为建筑量的增长，虽然城市的实质并不是建筑的存在，而是人类聚居活动的存在，但事实可以看出，建筑走到哪里，人的活动就走到哪里，城市也才可以发展到哪里。因此，我们可以用建筑空间延伸来表现人类活动空间的延伸，用建筑开发强度的变化来表现城市空间多维增

长模式。其实，城市在不断发展中不断进行着多维空间扩展，这期间，二维和三维空间增长是同时进行的。在此，其增长形式上可以分为两种：一种是城市建筑三维高度未发生增加，但二维用地范围增加；另一种是二维用地面积未增加，但城市建筑三维高度不断增加（如图 4-7 所示）。以两种城市空间生长形式为基础，多维城市空间生长过程基本上表现为以下几个阶段。



(a) 用地面积增加、建筑三维高度未增加　　(b) 建筑三维高度增加、用地面积未增加

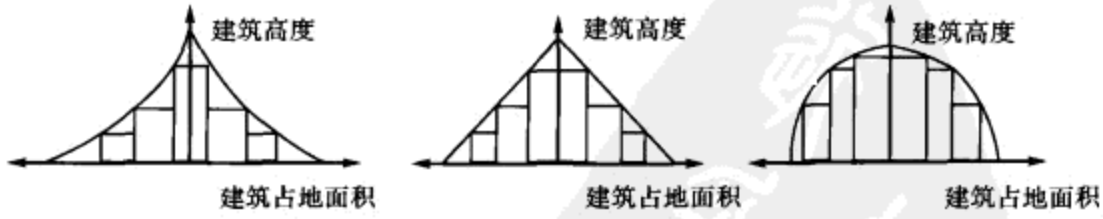
图 4-7　多维城市空间增长的两种形式

（1）城市发展初期或城市发展能力较弱时，人少地多，城市内部留存许多空地，其用地开发呈现弱金字塔状，如图 4-8(a)所示。

（2）城市发展到一定阶段，城市向外扩展和城市内部用地开发强度增加同时进行，其不同高度用地比率基本上保持稳定，此时，其用地开发强度呈均衡金字塔状，如图 4-8(b)所示。

（3）当城市内人口容量继续增大，并且城市发展用地受到限制时，城市只有向三维方向发展，它必然使建筑高度、建筑密度不断增加，使得高层建筑比例不断增加，这时，城市用地开发强度将呈穹隆顶状，如图 4-8(c)所示。

（4）当城市建筑开发超越均衡金字塔一定限度时，城市将高楼林立，极其拥挤，人们对城市环境的容忍度也将达到极限。



(a) 弱金字塔阶段　　(b) 均衡金字塔阶段　　(c) 穹隆顶阶段

图 4-8　多维城市空间增长模式

在城市开发建设中，为了追求最大的效益，开发商不断地增加用地开发强度，增大可能的建筑面积，它已直接影响到人们的生活质量和生活秩序。同时，我国产业和人口向城市集中的趋势，预示着高密度、大规模城市社会的来临。因此，如果城市向三维方向的发展控制不当，城市的人居环境将变得越来越恶劣，这也违背了

社会发展进步的初衷。在此，对城市用地开发强度的控制已不得不提到议事日程上来，如何构建高开发强度下的和谐环境研究也显得更为重要。因此，我们更要注重城市规划及其管理，城市规划及其实施过程其实就是城市的有机调理和生长过程。

§4.5　遗传算法空间生长模型建立优势分析

4.5.1　现有的城市空间生长模型

1. 城市空间生长中单要素用地选择模型

单体分析模型针对性强，条件清晰。对单体的分析模型可针对具体项目的选址使用，如城市工业空间增长分析、居住空间增长分析、房地产库存空间增长分析等，但是它难以应用于城市的整体发展分析。对于城市规划而言，它要统筹考虑城市的各个空间要素。例如，工业项目用地的选择模型，它只考虑经济因素，即企业理想的位置就是使土地租金和运费最低的位置。假设某一工业企业的产品需要在市区内通过 n 个点销售或转动，表示为(x_{ci}, y_{ci})，$i=1,2,\cdots,n$；原料的转动点有 p 个，表示为(x_{rj}, y_{rj})，$j=1,2,\cdots,p$；单位产品的运费为 T_c；单位原料的运费为 T_r；市区单位面积的年租金是位置(x,y)的函数，即 $\mathrm{Pl}(x,y)$；该企业所需面积为 SA。则企业理想的位置就满足

$$\min\{U\} = \mathrm{SA} \cdot \mathrm{Pl}(x,y) + T_c \cdot Q_c \cdot \sum_{i=1}^{n} S((x,y), x_{ci}, y_{ci}) +$$

$$T_r \cdot Q_r(x,y) \cdot \sum_{j=1}^{p} S((x,y), x_{rj}, y_{rj}) \tag{4-1}$$

其中，Q_c 为年产量，Q_r 为原料年消耗量，S 为空间量算函数。

2. 城市形态的分维模型

从 20 世纪 80 年代到 90 年代中期，国内外学者对城市形态及其演化的分形性质和分维特征进行了大量的探讨。英国理论和数量地理学家巴蒂(M. Batty)等的城市生长分形模拟得到很多人的关注，其研究表明，城市形态分维 D 的理论平均值应为 1.70 左右；对于城市的整体形态而言，一般 $D \leqslant 2$；当 $D=2$ 时，可能意味着城市土地的无间隙利用——城区全部被人类活动充满而没有罅隙。分维可以描述城市土地利用形态的空间变化规律，具体到半径维数，则表征城市土地利用密度从中心到四周衰减的相对速率。

3. 城市 CA 模型

当前应用最多的是基于元胞自动机(cellular automata，CA)的城市动态演化模拟模型，CA 模型是一种通用的时空动态模型，自其产生以来，被广泛地应用到社会、经济、军事和科学研究的各个领域，其中，CA 模型在城市增长、扩散和土地

利用演化的模拟方面研究最早、最为深入，理论和实践最为丰富，同时也是CA模型应用的热点。

目前，城市CA动态模型中关于土地利用类型有两种处理方法：一是将土地利用类型简单地分为城市和农村（或空闲）两类，这种方式以美国的克拉克（K. C. Clarke）、英国Cardiff大学的吴缚龙等人的城市增长模型为代表；二是考虑多种土地利用类型，虽然这种方式会大大增加模型的复杂度，但同时能够反映城市的内部结构，因此，采用这种方式是目前城市CA模型的方向。

CA模型的方法与本书所讨论的基于遗传算法的城市空间生长模型（urban growth analysis model based on genetic algorithms，UG-GA）的思想有某些相似之处，都是依据现有的用地状况，在一定的影响因子作用下，确定不同单元的行为规则和生长条件，从而分析用地可能的发展状态，只不过采取的方法不同。但是CA模型只用于动态生长与演化模拟，而UG-GA模型可以通过不同要素的选择或在相同影响要素下来评定规划方案，分析规划方案在不同方面的特点。

4. 基于代理的建模（agent-based modeling）

多代理（multi-agent，MA）系统是指相互作用的独立个体集合，个体是独立的，它们有独立行动能力，每个个体有它们自己的能力和目标，它们的行为直接为了获取目标和完成任务；它们与共同的环境相关联，这种相互作用包括交流沟通，也就是信息从一个个体和环境传递给另一个个体和环境，它们通过交流和相互作用共同分享一个环境，它们依据环境决策自己的行为。

基于个体的模拟非常适合于开发非线性的方式。该方法在检测微观层的个体行为和宏观模式之间的关系上非常有效，多个体模式能定位空间个体和其他环境资源，包括空间对个体行为的影响效果和个体作用于环境的效果。当前的MA主要用于抽象的理论研究或微观行为的模拟，其能力已经逐渐在社会科学领域显露，因为计算机的先进性能和充分的数据使个体对象或事件能被清晰模拟在基于个体的模型中，如模拟城市中路人的行为方式以重新定位住宅。一般地说，研究者的目的是理解个体行为产生的整体模式的一般概念，而不是要模拟每一秒的真实世界情况。虽然，没有报告表明MA已被独立应用于理解城市增长，但是，有指出MA是一个理解在微观层次上城市增长决策复杂性的理想工具（Cheng，2003）。

5. 空间统计模型（spatial statistics modeling）

空间统计模型中的多重回归分析、主成份分析、因素分析和对数回归已成功应用于解释社会经济行为，而多重回归和对数回归已广泛应用于具有不同特点的城市增长建模。Lopez等（2001）以Morelia城和墨西哥城为例，提出了预测城市边缘的城市覆盖和用地用途变化的模型，这里包括最强有力的Markov转换矩阵，有关城市和人口之间的线性回归为城市增长提供了强有力的预测。Wu Fulong等（1997）应用对数回归建立土地开发模式模型，已经显示出对数回归有更强大的能力解释

基于用地保护的城市开发。现在，有两种方式经常被采用：一是与空间取样与传统分析结合；另一个是开发新的基于空间关系的统计方法，如空间依赖和空间异质特性分析等方法。

6. **神经网络模型(ANN-based modeling)**

神经网络(artificial neutral networks，ANN)同时包括多个单一过程要素操作，它们的作用由网络结构、关联强度和由计算要素和结点操纵的过程决定。ANN 需要网络拓扑的确定和知识范例与学习法则。不像更多通用的分析方法，ANN 不依赖于特定的功能关系，没有考虑数据的分布属性，这种独立使 ANN 成为用于开发非线性复杂问题潜在的、强有力的工具，根据已出版的各种应用，它的强处在于进行假定分析预测。在地理科学领域，最近的 ANN 应用包括空间插值、交通规划、交通和土地应用、用地分类、影像分类、城市变化探测、用地变化。在城市增长上，Pijanowskia 等(2002)把 ANN 和 GIS 结合起来预测用地变化。

ANN 模型操作包括 4 个阶段：①网络设计和历史数据输入；②利用一个子集进行网络训练；③用所有的数据集检测网络；④通过神经网络内信息预测变化。这种应用显示出 ANN 是一个理解非线性空间模式的理想方法，短期的观测可以以其为基础。然而，ANN 的主要缺点是它的黑箱操作和静态特征，限制了对城市增长过程的模拟。

4.5.2　遗传算法的主要特点

遗传算法是一种更为宏观意义的仿生算法，它模仿的机制是一切生命与智能的产生与进化过程。它既结合了生物学的自然进化思想和相应概念，也提出了通过数学方法模拟这种过程的实现方法和基础理论。它通过模拟达尔文的“优胜劣汰、适者生存”的原理激励好的结构；通过模拟孟德尔遗传变异理论在迭代过程中保持已有的结构，同时寻找更好的结构(王小平 等，2002)。作为一种随机的优化与搜索方法，遗传算法有着其鲜明的特点：

(1)遗传算法是模拟自然界生物进化过程与机制求解极值问题的一类自组织、自适应人工智能技术。它模拟达尔文的自然进化论与孟德尔的遗传变异理论，具有坚实的生物学基础，它对生物智能生成过程进行模拟，具有鲜明的认知学意义。

(2)遗传算法操作的可行解集是经过编码化的(通常采用二进制编码)，目标函数解释为编码化个体(可行解)的适应值，因而具有良好的可操作性与简单性。

(3)它能解决任何类实际问题，具有广泛的应用价值。遗传算法只需利用目标的取值信息，而无需梯度等高价值信息，因而适用于任何大规模、高度非线性的不连续多峰函数的优化，以及无解析表达式的目标函数的优化，具有很强的通用性。

(4)遗传算法的操作对象是一组可行解，而非单个可行解，因此具有多目标性，即通过遗传算法不是只找到唯一最佳答案。

(5)搜索轨道有多条,而非单条,因而具有良好的并行性。遗传算法择优机制是一种"软"选择,加上其良好的并行性,使其具有良好的全局优化性和稳健性。

(6)遗传算法的目标是解决组合优化问题。由于当前某些组合优化问题规模逐渐扩大,其搜索空间也急剧扩大,在目前的计算机上用枚举法很难、甚至于不可能得到其精确最优解。对于这类复杂问题,人们考虑应把精力放在寻求其满意解上,而遗传算法则是寻求这种满意解的最佳工具之一。因此,最近十多年,遗传算法在国内外倍受重视。

4.5.3 城市空间生长过程中遗传算法的适用性体现

城市建模技术繁荣于20世纪50年代后期,60到80年代期间主要侧重于非空间的、静态的、线性的、确定性方法研究应用,如回归分析、输入-输出分析方法,这些方法在复杂的、动态的和非线性的城市系统中应用并不合适,这限制了城市决策支持系统的发展,而遗传算法则在一定程度上能弥补以往模型的不足,表现出其在城市建模和分析上的特有优势。对于本书所讨论的UG-GA模型,其优势具体体现在以下几个方面。

1. 更准确地表现城市空间生长的自然规律

1)城市空间生长影响因素的静态性和动态性特征分析

城市空间生长过程是一个复杂过程,在这个过程中,会受到来自于地理位置、社会、经济等多方面因素影响。在这些影响因素中,有些因素是相对稳定的、不变的。如地质、河流分布、已确定的城市市中心分布、主要交通干线分布、国家大型工业项目分布等,它们具有静态特征,在空间位置上相对稳定,因此对于用地的选择具有先导性,即事先确定了城市用地的优势空间,对于这一点,人们利用用地评价的方式就可以获得。但是还有一些影响因素具有不确定性和动态性,它们不是一开始就表现为用地发展的优势空间,而是在变化中、自发中寻找空间的优势互补,从而确定城市发展的最佳位置,这一点就体现在城市用地的协调发展上。一方面体现在某一单体地块与周围用地的协调发展上;另一方面体现在城市整体用地的结构构成合理和用地协调发展上。这说明城市用地不只是被动地受一些静态要素的影响发展,还会主动地发展并带动相关用地的发展,这使城市空间生长中既有人为干预的外部力量引导城市增长,也有城市内部的自组织、自适应特征带动城市空间生长,从而使城市形态的形成具有复杂性和多样性。

2)城市空间生长的自然组合优化特征分析

基于以上特性,城市的发展变化是不确定的,根据不同的组合方式,都可能达到城市空间发展的满意形态,城市发展在先行确定的用地基础上,确定以后的可能形式,而在最初的用地选择上,可能有多种选择都能使城市用地达到满意解,如图4-9所示,相同的城市空间要素构成(R代表居住,S代表道路,C代表商业)进行不

同的空间组合，几种组合方式在没有其他限制因素时基本上具有相同的效果。因此，在城市用地的发展上，可能有不同空间组合形式，甚至于在大范围内表现在用地分布上可能有很大区别，形成不同的空间形态或不同的用地空间分布形式，但却都有可能达到最佳或满意的组合效果。由于城市要素种类繁多，其排列组合方式是一个极大值，以往的用地评价主要体现在静态的评价地块的经济价值或地块的等级，在指导城市建设用地选择上，它只反映了一个侧面。城市建设用地选择是对城市用地、用途组合的选择，它不应只是静态地反映城市土地经济或生态的优劣，而应全面考虑不同个体对土地经济和生态价值的不同需求及不同个体相互之间的协调发展关系，即在城市建设用地选择上，每个地块的最优选择方式不是绝对的，它和周围的用地组成有关。即使是同一类用地选择，由于其周围用地的建设与否不同或用地类别不同，其地块的建设适宜值不同，它根据其周围用地使用或用途的改变而变化。这使得寻求最优值时，难以通过一般的评价方式进行，而遗传算法则能够完成对优化组合结果的寻优过程。

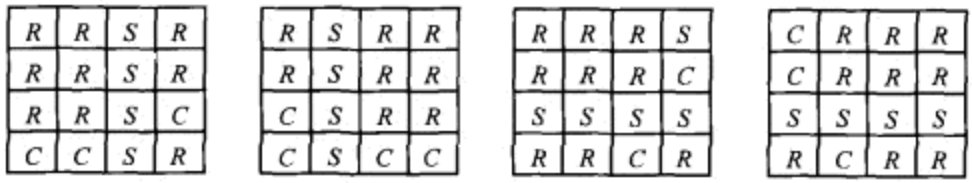
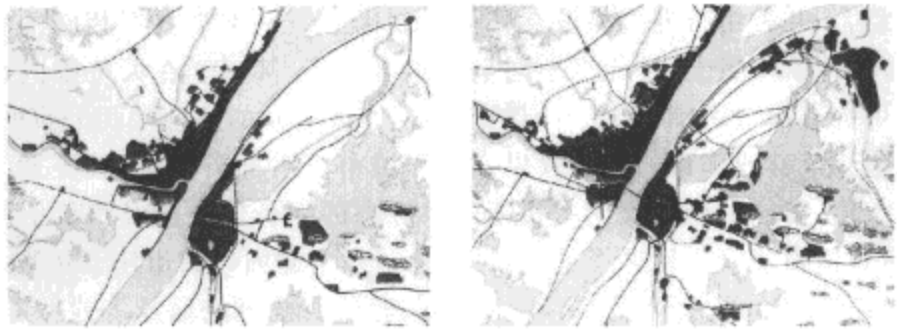


图 4-9　相同城市要素下的不同空间组合方式

3）城市空间生长的不确定性及动态特性分析

城市空间生长的过程也应是一种进化过程，外部环境的改变和人工干预有可能促使变异，从而使城市改变发展的方向或形态。城市空间生长所涉及的个体是一个包含基因数量庞大的个体，因此，在城市发展过程中，突变的可能性必然存在。例如，1954 年 5 月，经原国家计划委员会、国家建设委员会批准，在武汉青山地区建立我国第二个钢铁基地，武汉青山工业区的建立，打破了武汉市原有城市发展的形态，形成了新的生长极，开始带动城市向不同方向发展。因此，在城市空间生长过程中，会出现不以规律左右的用地发展形式——基因突变现象（如图 4-10 所示）。这种城市发展中用地变化的偶然概率是符合自然规律的，也说明了城市空间生长中的某些不确定性用地的出现是必然的。根据自然遗传规律，应该清楚，我们的目的不是要找一个具有最优值的唯一的、极致的城市增长方案，任何生物进化在发展中都存在着变异和个体的多样性，在下一代的基因遗传中，也有可能接受较差基因，但是总的趋势是在发展的。我们在此寻找的是城市的一种发展趋势，并且是一种随着环境改变而目标不断改变的发展趋势。所以城市的发展结果不是固定不变的，而且可能存在多种形式，但它们都是城市发展的满意结果。

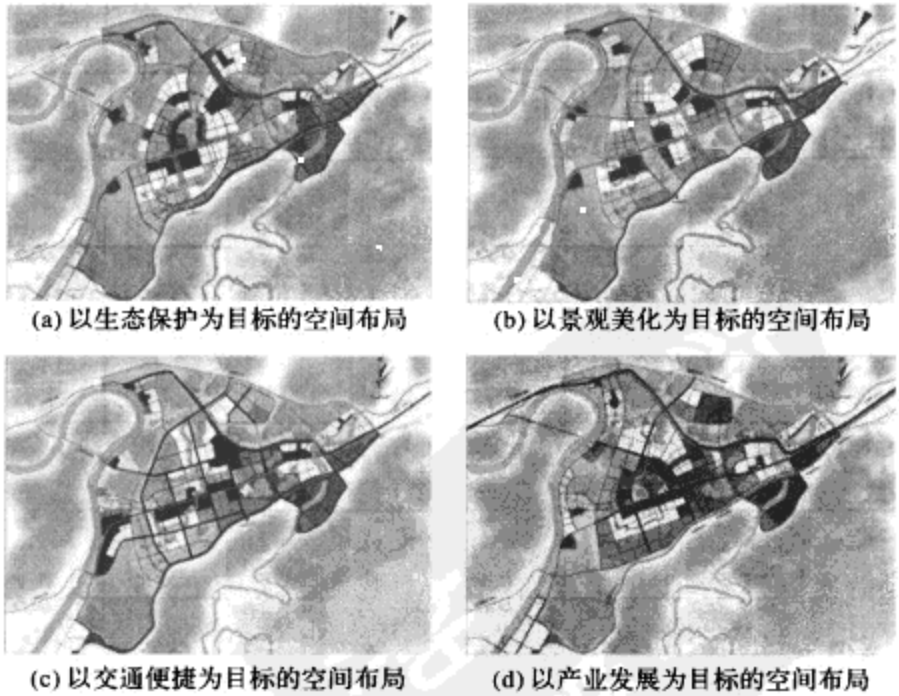


(a) 原有城市发展形态　　(b) 工业区建立后的城市发展形态

图 4-10　城市发展过程的不确定性和动态性表现

2. 满足城市规划多目标与多方案选择需求

编制城市用地规划方案是规划师们需要面临的一项重要任务，怎样去产生城市用地规划方案和如何去评价并选择最好方案是他们要解决的具体问题之一。而城市发展用地的选择受多种因素影响，没有绝对的最好与最坏。可能对某种条件，其是最好的，可是另一方面条件却有欠缺。城市用地规划的目标是很多的，我们可以分别考虑城市的交通便利目标、经济效益目标、良好的生活质量目标、城市生态环境目标等，根据城市的不同发展目标，可以制定出不同的城市空间规划布局方案，如图 4-11 所示。因此，城市的用地决策具有一定的灵活性，城市用地规划问题是一个多目标规划问题。遗传算法是基于进化论原理发展起来的一种高效的随机



(a) 以生态保护为目标的空间布局　　(b) 以景观美化为目标的空间布局

(c) 以交通便捷为目标的空间布局　　(d) 以产业发展为目标的空间布局

图 4-11　城市规划的多方案选择

搜索与优化算法，可以综合考虑多种因素，逼近模型最优解集。在城市空间生长中使用遗传算法，能对城市发展用地的整体组合值进行快速运算，根据不同的目标寻求相应的多个满意方案，或在多个满意方案中界定方案倾向满足的主要目标，辅助城市空间发展方向的确定。

3. 满足了城市空间生长量化的非线性需求

城市空间生长因素对于不同城市或城市的不同发展时期都是可变的、不确定的。城市中可变的众多因素使城市的影响参数与最后解之间难以形成线性关系，这一点，通过一般的回归模型难以表现或表现异常困难，但是遗传算法本身的特性却使城市空间要素的表现变得简单、容易理解和控制，因此，可以根据影响要素和参数的改变对任何城市进行模拟分析。

第 5 章　UG-GA 模型空间操作基础

§5.1　空间数据结构与数据库模型基础

5.1.1　空间数据结构基础

1. 栅格数据结构

栅格数据结构，是指将空间分割成有规则的网格，在各个网格上给出相应的属性值来表示地理实体的一种数据组织形式(如图 5-1 所示)；栅格数据包括各种遥感数据、航测数据、航空雷达数据、各种摄影的图像数据，以及通过网格化的地图图像数据如地质图、地形图和其他专业图像数据。栅格数据用于空间分析有其比矢量数据优越的地方，它的邻域操作更容易规律化表达，更容易程序化实现，如有些叠加、可达性分析等都是基于栅格数据的。

2. 矢量数据结构

矢量数据结构是基于矢量模型，利用欧几里得几何学中的点、线、面及其组合体来表示地理实体的空间分布(如图 5-2 所示)。几乎所有的 GIS 软件都有自己特定格式的矢量数据。矢量数据的面向对象特征更明显，在管理业务等操作中更为方便，数据量小，属性数据容易表达，也更明确。但是在算法上会更复杂。

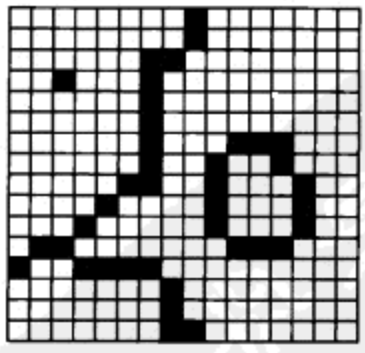


图 5-1　栅格数据结构

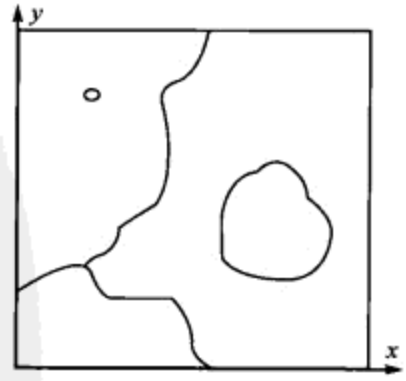


图 5-2　矢量数据结构

栅格数据与矢量数据各有其优缺点，通常的栅格数据通过扫描更容易获取，而我们可以从已有的图片上提取一定的矢量格式信息，所以这两种数据往往在同一系统

内同时被使用，栅格数据和非栅格数据的复合应用是 GIS 应用中的一个趋势。

5.1.2　数据库模型

1. 层次数据模型

层次数据模型以树结构表示实体及实体之间的联系，是基于树结构的数据操作集合、完整性规则集合。它的根结点只有一个，无父结点，其他结点有且仅有一个父结点，适于描述层次结构的数据。

2. 网络数据模型

它用网状结构来表示实体及实体之间的关系。是基于图结构的数据操作集合、完整性规则集合，它可以有多个结点，无根结点，子结点可以有一个以上父结点，其速度快、不易掌握。

3. 关系数据模型

实体和联系均用二维表(关系)来表示的数据模型称之为关系数据模型。“关系”(relation) 是数学中的一个基本概念，由集合中的任意元素所组成的若干有序偶对表示，用以反映客观事物间的一定关系。关系理论是建立在集合代数理论基础上的，有着坚实的数学基础。它能应用数学方法来处理数据库中的数据，易于理解和使用。现代广泛使用的关系型数据库管理系统有：Oracle、Sybase、Informix、DB2、SQL Server、Acess、Fox 系列数据库等。

4. 面向对象模型

面向对象数据库模型汲取了传统数据模型及其他几种非传统数据模型的优点，利用几种数据抽象技术：分类、概括、联合、聚集和数据抽象工具继承和传播，采用对象联系图描述其模型的实现方法，使得复杂的客观事物变得清楚易懂。它是基于对象的数据操作集合、完整性规则集合，适于模拟实体的行为。

5.1.3　空间数据库与空间数据仓库

简单地说，空间数据库是存放空间数据的数据库。更确切地说，空间数据库是描述空间物体的位置数据与点、线、面之间拓扑关系及描述这些物体的属性数据的数据库。空间数据库是一类重要的、特殊的数据库，除最具代表的 GIS 外，它还包括图像数据库、CAD 数据库等。空间数据库存有大量空间对象，它们以空间数据类型(如点、线、区域等)和空间关系(如相邻、交叉和包含等)表示。空间数据具有许多独有的特性，它带有拓扑、方位和距离信息，通常以复杂的多维空间索引结构组织，通过空间数据存取方法存取，常常需要空间推理、几何计算和空间知识表示等技术。

空间数据仓库作为一种新型的数据存储方式，可以为数据挖掘提供新的支撑平台。空间数据仓库中存放空间数据(图形和图像)、原始维表数据、事实表数据，并有可能存储维结构数据和聚合数据(适合于 ROLAP 模型)。空间数据仓库技术

可以在很大程度上解决数据收集、信息集成、综合分析、数据挖掘和知识发现等问题。数据仓库是在企业管理和决策中面向主题的、完整的、非易失的、不同时间的、用于支持决策管理的数据集合。由于空间数据包含了完整的、主题明确的、净化的、综合性的数据，因此最适合作为数据挖掘的数据源(徐铭杰 等，2003)。此外，数据仓库特有的、优化的查询引擎和数据组织结构，有利于数据挖掘过程高效率地完成。

5.1.4 空间关系

空间关系包括面与线、线与线、面与点、线与点之间等多种空间关系。由于城市生长分析中的地块的面状特征，在此我们只讨论面与面之间的空间关系，具体形式如下。

1. 拓扑关系

面与面之间的关系只是所有空间关系的一个组成部分。设 A 和 B 为城市中的两个地元，∂A、∂B 为 A、B 两多边形边界，而 A°、B° 为 A、B 两多边形的边界内部。考虑两个面状实体的边界和边界内部之间的空间关系，将形成 16 种可能结果，其中 8 种为实际存在的有效结果(见表 5-1)，反映了两个空间对象之间的相离、相接、相交、重合、覆盖与被覆盖和包含与被包含关系(如图 5-3 所示)。

表 5-1 多边形之间的拓扑关系分析

$\partial A \cap \partial B$	$\partial A \cap B^\circ$	$A^\circ \cap \partial B$	$A^\circ \cap B^\circ$	拓扑关系名称
$\varnothing$	$\varnothing$	$\varnothing$	$\varnothing$	A 和 B 相离
$\varnothing$	$\varnothing$	$\varnothing$	$\neq\varnothing$	不存在
$\varnothing$	$\varnothing$	$\neq\varnothing$	$\varnothing$	不存在
$\varnothing$	$\varnothing$	$\neq\varnothing$	$\neq\varnothing$	A 包含 B 或 B 被 A 包含在内
$\varnothing$	$\neq\varnothing$	$\varnothing$	$\varnothing$	不存在
$\varnothing$	$\neq\varnothing$	$\varnothing$	$\neq\varnothing$	A 被 B 包含在内或 B 包含 A
$\varnothing$	$\neq\varnothing$	$\neq\varnothing$	$\varnothing$	不存在
$\varnothing$	$\neq\varnothing$	$\neq\varnothing$	$\neq\varnothing$	不存在
$\neq\varnothing$	$\varnothing$	$\varnothing$	$\varnothing$	A 和 B 相接
$\neq\varnothing$	$\varnothing$	$\varnothing$	$\neq\varnothing$	A 和 B 重合
$\neq\varnothing$	$\varnothing$	$\neq\varnothing$	$\varnothing$	不存在
$\neq\varnothing$	$\varnothing$	$\neq\varnothing$	$\neq\varnothing$	A 覆盖 B 或 B 被 A 覆盖
$\neq\varnothing$	$\neq\varnothing$	$\varnothing$	$\varnothing$	不存在
$\neq\varnothing$	$\neq\varnothing$	$\varnothing$	$\neq\varnothing$	A 被 B 覆盖或 B 覆盖 A
$\neq\varnothing$	$\neq\varnothing$	$\neq\varnothing$	$\varnothing$	不存在
$\neq\varnothing$	$\neq\varnothing$	$\neq\varnothing$	$\neq\varnothing$	A 和 B 相交

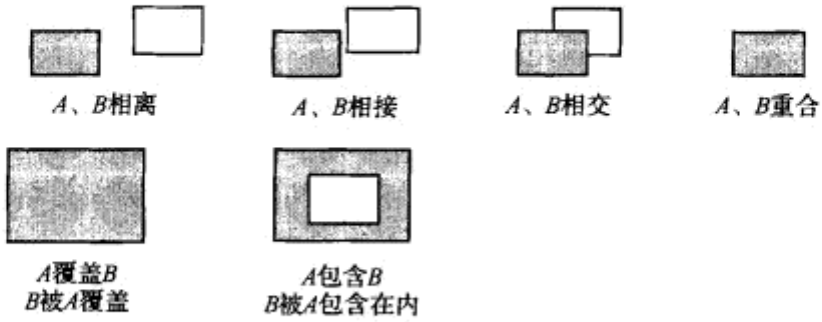


图 5-3　两个面状空间对象之间的拓扑关系

2. 距离关系

面状实体之间的距离关系可以在拓扑关系的基础上对用地空间关系作进一步的描述。设 dist 为一距离函数，σ 为关系谓词，如$<$、$>$、or、$=$、c 为一实数，O_1 和 O_2 为空间对象，则距离关系可表示为 dist(O_1，O_2) σ c（如图 5-4 所示）。

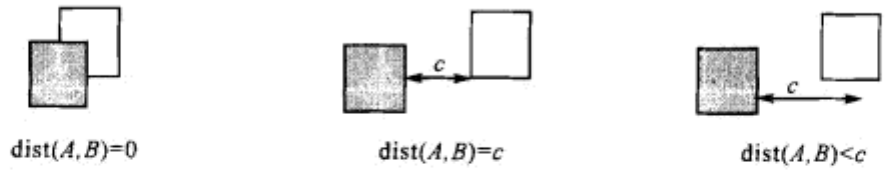


图 5-4　地元之间的距离关系

3. 方向关系

方向关系通过一个四象限来表达，概括为 9 种方向关系：北（north）、东（east）、南（south），西（west）、东北（northeast）、西北（northwest），东南（southeast）、西南（southwest）、任意方向（any_direction）。方向关系可以在拓扑关系和距离关系基础上对面状实体之间的空间关系作更明确的描述（如图 5-5 所示）。

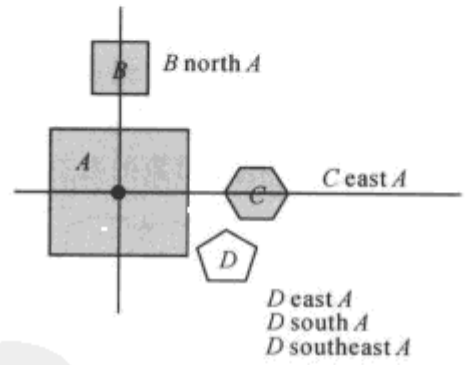


图 5-5　地元之间的方向关系

5.1.5　空间数据类型

因为不同的数据类型将直接影响到数据在数据库中的存储方式和数据的拓扑操作，通过数据类型的分析能够从数据库设计者的角度更好地理解空间对象的复杂语义，并且，空间数据类型的正式定义将直接影响到相应的空间操作的定义，它对用户来说也更清晰和一致。因此，认识不同的数据类型特点，对于数据组织、系统分析、系统管理都具有重要意义，也是迈出空间数据类型标准建立的第一步。

1. 表达独立空间对象的数据

表达独立空间对象的数据用于表现某一范围内独立存在的空间实体或现象，它用点、线、面表达各种点状、线状及面状空间地物及空间现象，例如，可用点状数据表达城市、城堡、房屋、教堂、水井、棋杆等，如图 5-6(a)所示；可用线状数据表达高速公路、河流、电缆、路线等，如图 5-6(b)所示；可用面状数据表达城市、湖泊、行政地区、农田等，如图 5-6(c)所示。在此，可通过点集理论(point set theory)对这类数据进行描述。点集理论把空间基本假设为由无限个点组成；空间内包括一组空间对象，每一个空间对象被看做由此对象所占据的点的集合；解析几何通过数字表现点、线、面和它们之间的关系，可通过并、交、差等操作重建新的物体，并通过解析几何的数学计算推导出拓扑关系。例如，现有空间对象 x 和 y，分别表示为 points(x)和 points(y)，则空间实体相等 $x = y$ 可以表示为 points(x)= points(y)。



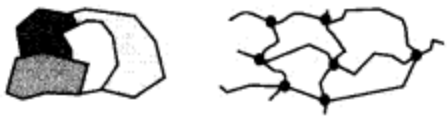
(a) 点状数据　(b) 线状数据　(c) 面状数据

图 5-6　表达独立空间对象的数据形式

由于空间对象的独立存在特征，其拓扑关系的表现也是多种多样，可用点集拓扑理论来描述，点集拓扑理论具有与点集理论相同的假设，主要目的是调查点集合的拓扑结构。面与线、线与线、面与点、线与点之间的空间关系，按 9 交(9-intersect)模型，可得到点、线、面之间的 512 种空间关系。

2. 表达关联空间对象的数据

表达关联空间对象的数据主要包括分区数据形式和网络数据形式。空间分区形式往往用来表达土地利用、行政区划、国土权属等，如图 5-7(a)所示；空间网络形式往往用来表达高速公路、铁路、河流、电信等，如图 5-7(b)所示。这类数据所描述的空间对象之间相互联系，拥有共同的边界或者结点。其中，分区数据形式是把空间细分为两两相邻的区域，每个区域与某种属性相关，这种属性可具有简单或者复杂的结构。Erwig 等(1997)给出空间分区的正式定义，他认为空间分区是二维平面的一个投影，相邻区域有不同标识和属性，边界为两个相邻区域共有。



(a) 分区数据　(b) 网络数据

图 5-7　表达关联空间对象的数据

这种类型数据具有某种特定的拓扑关系，如空间分区中隐含着具有共同边界的多边形之间的邻接关系和不具有共同边界的多边形之间的相离关系。

5.1.6　空间数据操作方式

不同类型的空间数据，其数据操作也各有各的侧重点。作为独立存在物体，只有在两个物体相切时才会有公共边或公共点，而关联空间对象如分区形式，每两个相邻区域之间都会有一条公共边。

因此，独立空间对象数据的空间操作更灵活、种类更多，包括以下几类。

(1)返回逻辑值的空间操作，如拓扑关系操作中的相等、不相等、分离、相邻、相交、叠加、相切、在里面、在外面、被覆盖、包含等操作；空间秩序和顺序关系操作中的在后或在前、在上或在下、在里或包括等操作；方向关系操作中的北或南、左或右等操作。

(2)返回数值的空间操作，如计算面积、周长、长度、直径、距离、最大距离、最小距离、方向等操作。

(3)返回新的空间物体操作，如空间重建操作中的合并、相交、差除等操作；空间变形操作中的拉伸、旋转、平移等操作；对空间一组对象操作的找出最近对象、求 Voronoi 多边形等操作。

空间分区数据形式主要侧重于叠加、融合、叠印、裁减、重分类等特定的操作方式，其中比较典型的操作是叠加、融合、重分区操作，它主要应用于城市各种用地适宜性评价中，对用地分级、用地结构分析具有重要意义。而网络空间数据形式的主要操作方式一般为求最优路径操作。

§5.2　城市规划空间数据类型

5.2.1　城市规划空间数据特征

城市规划涉及内容广泛、信息繁杂，不同类型数据以数字方式表达时，相互之间会表现出一定的差异。对城市规划中不同类型数据特点的认识有助于避免系统建库时数据组织混乱，减少由于数据组织不当对后期系统操作和数据分析造成的不利影响。

城市规划信息可分为两类：一类是支持城市规划的信息(如基础地形、地质、社会经济统计信息等)；另一类是规划产生的信息(如规划法规、规章、规范、图则等)。数字城市规划中所涉及的各种空间信息，也可以被归并到以上所描述的两种数据类型中。首先，城市中存在的房屋、道路、植被、花坛等地物及地形、地貌，它们是城市规划制作的重要基础信息，可以通过点、线、面来表示，点、线、面彼此相互独立，公共边信息在此没有实际意义，它符合独立空间对象数据特征；其次，土地利用规划及城市总体规划、控制性详细规划中的用地规划都是针对整个城市空间的，是对整个城市空间

的分割，还有某些用地评价是基于某种空间特征或者等级标准得出的对整个城市空间的分区。在这些空间数据中，各个面或线彼此具有一定联系，其公共边和公共点信息是其相关空间操作的重要基础，它们具有关联空间对象数据的特征。

5.2.2 城市规划空间数据层次

在此，根据以上划分与城市规划业务自身特征，把数字城市规划空间数据分为基本层、实体层、结构层三个层次（于卓 等，2004）。

1. 基本层

对基本层数据的操作是数字城市规划建设的基石，同时也是其组成部分之一。尽管在分析城市空间现象时，是针对城市空间地物和空间分布的，但是在计算机中，均被抽象为可由计算机表达的点、线、面形式，任何空间操作都是建立在点、线、面上的，因此它是空间表达的基本层。基本层的主要研究内容为如何用计算机所能理解的数学方法表现点、线、面和其之间的各种关系，它只考虑点、线、面之间的纯空间位置关系，本身不代表任何意义。

对城市规划信息的管理，一般不需要对基本层操作，但在城市规划辅助设计及制图中，将涉及与制图相关的纯点、线、面的操作。因此，它既是一个广义的空间系统的基本层，也是城市规划信息系统数据操作的内容之一。

2. 空间实体层

基本层所涉及的点、线、面可以表达地球空间上存在的任何实体和现象，城市规划制作过程中所涉及的城市空间实体和存在，也可以由具有一定意义的点、线、面表示，在数字城市规划建设中，这些数字化的空间实体构成了城市基础信息库的主要内容，属于城市规划空间数据的实体层。空间实体层的操作对象一般指那些不需要进行二次分类和重构就可以直接进行描述的空间实体，如房屋、河流等，这类空间实体往往是独立存在的，一般代表实际存在的空间地物或对象，它们具有独立空间对象数据的特征。该层次数据更侧重于对空间存在进行描述，而不是分析。

3. 空间结构层

空间结构层主要为关联空间对象数据类型，它侧重于对城市空间结构的认识，它是基于基础信息上的总结、归纳。如城市总体规划和控制性详细规划是根据人们自己制定的标准对城市空间的重新分区，并形成对城市空间总体形态和结构的认识，这种认识可以深入到对社会、经济、文化的城市空间构成作用的更深刻理解上。空间结构层体现了城市规划师对城市空间构成的认识和认识的提高上，它是对空间实体层认识的一种提升。

从以上内容可以看出，数字城市规划空间数据的这三个层次分别以不同数据类型为主，它们之间既相互关联又有各自的特点。数字城市规划中的空间数据层次、空间数据类型及在城市规划设计与管理中的实际应用之间的关系如图 5-8 所示。

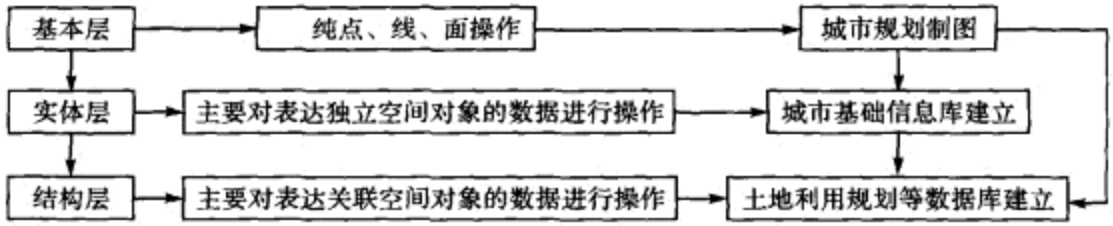


图 5-8　数字城市规划空间数据层次分析

当然，这种分类不是绝对的，只是从某一个角度强调数据的特点，对于关联数据，它具有双重特征，当单独看待关联对象中的某个单体时，其仍是一个独立的个体，我们仍然要独立地考虑这些地块。

§5.3　城市演变和扩展的空间描述

5.3.1　城市规划用地表达特征

城市规划的基本任务，是根据一定时期经济社会发展的目标和要求，确定城市性质、规模和发展方向，统筹安排各类用地和空间资源，综合部署各项建设，以实现经济和社会的可持续发展。其中，城市土地资源的空间配置是城市规划任务的核心。为了科学地编制城市规划，合理经济地使用土地，保证城市正常发展，城市用地分为 10 大类、46 中类、73 小类，城市用地按土地使用的主要性质进行划分和归类。城市规划中的用地单元作为空间对象的一种存在方式，是城市规划的基本表达方式。在此，我们把城市规划工作中，表现在城市用地现状图和规划图上的、为满足城市规划分析和城市规划表达而划定的城市用地单元简称为地元。城市土地利用分析与城市规划制作的主要内容就是按城市用地分类标准对城市空间进行分区，并对由此形成地元的空间形态及其相互之间的关系进行研究。

城市规划地元不同于城市用地权属单元。城市用地权属单元更注重于权属单元个体的形态和所属变化，而城市规划分析则不仅需要了解城市规划地元个体的演变过程，而且对多个地元之间关系的演变情况也十分关注，城市规划地元空间关系蕴涵了城市中各种社会经济职能之间的联系，城市用地布局就是建立在对城市规划地元相互关系分析基础之上的。因此，城市规划用地单元存在形态及对其操作包括以下两方面含义。

1. 单个地元的表现与操作

单独看每一个地元，它具有表达独立空间对象的数据特征，将在数据管理和分析中进行与独立空间对象数据类似的空间操作，如分割、量算距离等。并且，整个城市空间构成是基于单个用地单元的，每个单体都将具有各自的个性表现，而该个

体的需求也将是城市整体发展需求的一部分。

2. 多个地元关系的表现与操作

作为地块整体，它具有关联型数据特征，会有与分区对象数据相类似的空间操作方式，如地块之间两两相邻关系，以及其他各种相关空间关系操作方式。从某种程度上来看，城市用地之间的关系主要表现为相互吸引和相互排斥关系，用地之间组合也是建立在各类用地之间的相互吸引与排斥之上。当我们把相互吸引的用地放在一起，就会产生一种系统效益，形成良性发展；而把相互排斥的用地放在一起，就会产生城市问题，并有可能出现连带效应。

5.3.2 城市用地的空间演变形式

城市规划地元的变化包括其空间形态的改变和用地类别的改变，空间形态的演变同时会产生用地类别的变化。从地元的空间演变形式上来看，地元的演变包括单个地元的演变，和多个地元之间关系的演变，单个地元的演变是整体演变分析的基础，有时，我们必须从单体演变分析着手，多个地元关系的演变主要是反映在其空间拓扑关系、距离关系、方向关系的改变上。在城市规划中，城市用地的演化过程是研究城市空间形态演化及推导城市未来发展趋势的重要基础，对城市规划工作具有重要意义。在此，我们把城市规划地元的演变形式总结为以下几种。

1. 空间个体演变

个体空间形态的演变是整体空间结构演化的基础，新用地的逐渐产生，原有用地的不断改造，构造了城市空间生长序列。在此，对于某一个地块单元的演变包括地块的产生、消亡、分割、扩充、缩小、地块边界调整、偏移方向等(罗年学，2002)(如图 5-9 所示)，如某一工业用地的外迁、某一区域商业用地的扩大或缩小等。

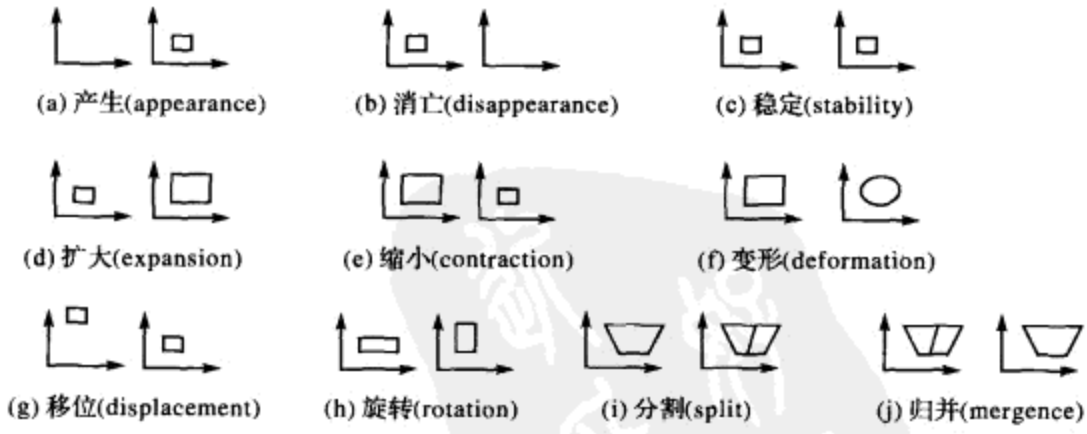


图 5-9 空间个体演变

对地元单体还可以作进一步分析，可通过对其重心和边界位置变化来判断其相对于原来是发生了偏移还是变形(如图 5-10 所示)。



图 5-10　空间个体演变分析

2. 类簇演变

类簇的演变主要指同类多块相对集中用地的演变过程，它是城市集聚效应的表现和功能分区的需要，这种演变过程表现为地元之间距离的变化和类簇整体规模的变化，主要体现为某一类用地在某一位置的扩张、衰退及迁移(Morphet，1997)。如商业中心的发展最初总是由几个分散的地元，逐渐发展成多个区，最后又连成一片(如图 5-11 所示)；而在城市用地的扇形发展模式中，同一种族居住用地则沿城市的同一方向发展和分布。

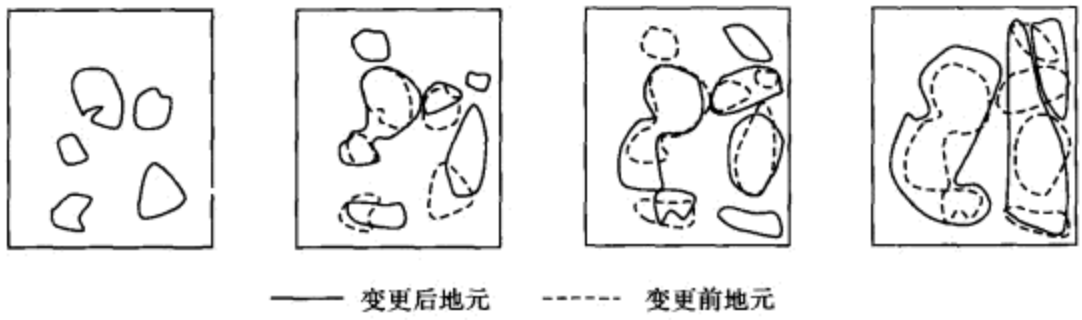


图 5-11　类簇演变

3. 类分布演变

类分布演变主要指相对分散的同类地元的用地发展变化关系，包括地元密度的变化、均匀度的变化等。如在城市的发展过程中，小学用地的分布是否得到进一步改善、是否满足需要。表现在空间形式变化上，则是当新的地元增加后，地元之间的距离发生变化，影响区域发生了变化(如图 5-12 所示)。

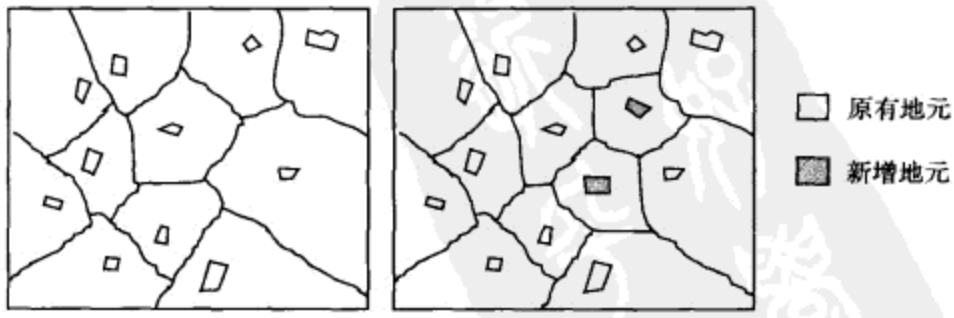


图 5-12　类分布演变(地元的 Voronoi 图)

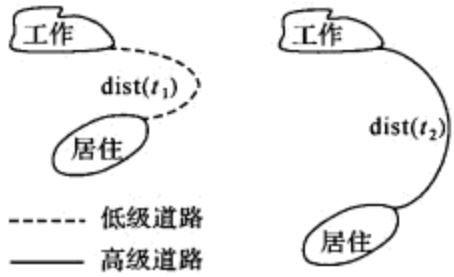


图 5-13 异类地元关系演变

4. 异类地元关系演变

其包括两个不同类地元之间的拓扑关系、距离关系、方向关系的变化，如工业用地调整到居住用地的下风向，居住用地与居民工作地方如工业、商贸用地之间的距离会随着道路或者交通工具的改善而增加(如图 5-13 所示)；也包括多类地元或区域内所有地元之间的关系演变。

5.3.3 城市空间生长

城市用地扩展就是在用地单体的增加扩大、同类及异类用地之间空间关系的调整、变化中逐渐向外扩展、蔓延、增长。城市空间生长过程既可以说是蕴涵了城市用地演变过程，也可以说是城市用地演变的一种，城市空间生长和城市用地演变过程是相互穿插、相互交融的。在城市空间生长过程中，既要考虑到每个地块个体的空间位置和形态，也要考虑到地块空间关系的和谐；既要考虑到增长地块个体与建成区空间关系的协调性，也要考虑到增长地块的确定可能对未来建设的影响及可能形成地块之间的各种空间关系的变化，还应考虑到建成区的调整演变可能导致的未来增长地块与建成区及未建设用地之间空间关系的变化。城市空间生长是个没有固定空间界定、没有大小约束的动态过程，这增加了城市空间生长的不确定性和复杂性，尽可能地挖掘和利用可确定因素和分析不确定因素是城市空间生长分析模型实现的重要基础。

§5.4 空间数据挖掘、空间特征度量及 UG-GA 模型下的空间操作

5.4.1 空间数据挖掘与城市用地扩展分析

1. 空间数据挖掘概念及主要方法

从 20 世纪 90 年代以来，人们对数据挖掘技术进行了大量研究，尤其是关系型和事务型数据库的数据挖掘。空间数据挖掘(spatial data mining，SDM)是数据挖掘和知识发现的分支学科，它的对象是空间数据库或空间数据仓库，有别于常规的事务型数据库。空间数据挖掘是指从空间数据库中抽取隐含的知识、空间关系和非显式地存储在空间数据库中有意义的特征或模式。SDM 挖掘的空间知识一般表现为一组概念、规则、法则、规律、模式、方程和约束等形式的集合，是对数据库中数据属性、模式、频度和对象簇集等的描述；发现的主要知识类型有普遍的几何知

识、空间分布规律、空间关联规律、空间聚类规则、空间特征规则、空间演变规则等。空间数据挖掘是多学科和多种技术交叉综合的新领域，它克服了使用单一技术的缺陷，综合了机器学习、空间数据库系统、专家系统、可移动计算、统计、遥感、可视化等领域的有关技术，在处理过程中可能会有很多次反复，主要包括准备、数据选择、数据预处理、数据缩减、确定 SDM 的目标、确定知识发现算法、数据挖掘、模式解释、知识评价等步骤(李德仁 等，2002)。它的研究将在航海、交通控制、环境研究和城市规划等领域有着广阔的应用前景。空间数据挖掘技术主要包括以下方法。

1)空间关联规则发现

空间关联规则是空间数据挖掘的重要内容。目前的研究主要集中在提高算法的效率和发现多种形式的规则两方面，并以逻辑语言或类 SQL 语言方式描述规划，以使 SDM 趋于规范化和工程化。空间关联规则表示了空间物体的空间属性之间、空间属性与非空间属性之间的依赖关系，可表示为 $X \rightarrow Y(c\%, s\%, i\%)$，$c\%$、$s\%$和 $i\%$分别是规则的可信度(confidence)、支持度(support)和兴趣度(interest)，X、Y 是空间或非空间谓词的集合，其中至少有一个表示空间关系(如 close_to、north、intersect 等)(吴信才 等，2002)。

事实上，人们一般只对满足一定的支持度和可信度的关联规则感兴趣。为了发现有意义的关联规则，需要给定两个阈值——最小支持度和最小可信度。前者即用户规定的关联规则必须满足的最小支持度，它表示了一组样例在统计意义上需满足的最低程度；后者即用户规定的关联规则必须满足的最小可信度，它反映了关联规则的最低可靠度。因此，这两个指标规定了关联规则发现的算法。在实际情况下，一种更有用的关联规则是泛化关联规则。因为空间实体概念间存在一种层次关系，有了层次关系后，可以帮助发现更多有意义的规则。泛化的关联规具有更高的支持度和可信度，因而更加稳定。

2)空间分类发现

空间分类规则挖掘是空间数据挖掘的领域之一。分类分析的任务是要根据对象的属性值确定对象属于一个给定的类属集中的某个类。它把存储在数据库里的数据进行概括和综合，归纳出高层次的模式或特征(Booker et al，1989)。在空间分类分析中，不仅要考虑对象的非空间属性，还要考虑它与数据库中其他对象的空间关系。统计学家和机器学习专家提出了许多分类方法，但最常用的是决策树方法。决策树方法可处理数值型数据和语义型数据，而且结果可以表达成规则的形式，便于决策制定。许多统计分类方法和所有的神经网络方法都把信息描述为公式，而决策树将信息转化为可作领导决策参考的规则。所以，决策树方法具有极强的应用价值和研究价值。空间分类法一般需要背景知识，背景知识可以由用户提供，也可以作为空间数据挖掘的任务之一自动提取。在 GIS 数据库中，原始关系

经过分类操作后得到的是一个泛化关系，它从较高的层次上总结了在低层次上的原始关系，有了泛化关系后，就可以对它进行各种深入的操作而生成满足用户需要的知识，如在泛化关系基础上生成特性规则、判别规则、分类规则，以及关联规则等。空间分类发现的规则在模式识别、基于内容的查询、图像分类等应用中具有重要意义。

3)空间聚类发现

聚类分析主要是根据实体的特征对其进行聚类或分类，按一定的距离或相似测度在大型多维空间数据集中标识出聚类或稠密分布的区域，将数据分成一系列相互区分的组，以期从中发现数据集的整个空间分布规律和典型模式。聚类分析是统计学的一个分支，与规则归类不同的是，聚类算法无需背景知识，能直接从空间数据库中发现有意义的空间聚类结构。它是目前空间数据挖掘研究和使用较多的。聚类分析的任务是要将数据库中的对象按照某些特征划分为不同的有意义的子类，这些子类就叫做聚类。同一聚类中的对象具有高度相似的某种特征，并与不同聚类的特征有明显的差异。除了概念聚类分析之外，大量传统的聚类分析(如k-means)都是基于距离的聚类分析，因此，可以方便地引入到空间数据库的分析中来，聚类方法包括统计方法、机器学习方法、神经网络方法和面向数据库的方法。

4)归纳学习方法

归纳学习方法是从大量的经验数据中归纳制取一般的规则和模式，其大部分算法来源于机器学习领域，归纳学习的算法很多。例如 Esposito 等(2000)的AQ11、AQ15，洪家荣等(1995)的 AE1、AE9，Hunt 等(1966)的 CLS，Quinlan(1987)的 ID3、C5.0 等，其中最著名的是 Quinlan 提出的 C5.0 决策树算法。

5)探测性的数据分析方法

我国著名摄影测量与遥感专家李德仁院士、中国科学院邸凯昌研究员等提出了探测性的数据分析(exploratory data analysis，EDA)。EDA 采用动态统计图形和动态链接窗口技术将数据及统计特征显示出来，可发现数据中非直观的数据特征及异常数据。EDA 与空间分析相结合，构成探测性空间分析(exploratory spatial analysis，ESA)。EDA 和 ESA 技术在数据挖掘中用于选取与问题邻域相关的数据子集，并可初步发现隐含在数据中的某些特征和规律。

6)粗集方法

粗集理论是波兰华沙大学 Z. Pawlak 教授在 1982 年提出的一种智能数据决策分析工具，被广泛研究并应用于不精确、不确定、不完全的信息的分类分析和知识获取。粗集理论为空间数据的属性分析和知识发现开辟了一条新途径，可用于GIS 数据库属性表的一致性分析、属性的重要性、属性依赖、属性表简化、最小决策和分类算法生成等。粗集理论与其他知识发现算法相结合可以在数据不确定的情况下从 GIS 数据库中获取多种知识。

7)数字地图图像分析和模式识别方法

GIS 数据库(数据仓库)中含有大量的图形图像数据,一些图像分析和模式识别方法可直接用于挖掘数据和发现知识或作为其他挖掘方法的预处理方法。用于图像分析和模式识别的方法主要有:决策树(desicion tree)方法、神经网络方法、数学形态学方法、图论方法。

8)数学统计方法

空间统计学是依靠有序的模型描述无序的事件,根据不确定性和有限信息分析、评价和预测空间数据,基于足够多的样本,在统计空间实体的几何特征量的最小值、最大值、均值、方差、众数或直方图的基础上;或以得到空间实体特征的先验概率,进而根据领域知识发现共性的几何知识。空间统计学拥有较强的理论基础和大量的成熟算法,可有效地处理数值数据。但这种方法存在一些缺陷,如统计方法不能很好地处理不完整或不确定的数据,大多数统计建模需要丰富的邻域知识和统计经验,并且在大型数据库中,计算成本很高。因此在空间数据库中,亟待引进或开发能满足用户方便使用的新型、高效的数据挖掘方法。

9)空间趋势检测

空间趋势指沿远离出发点的方向上非空间属性的某种规则变化。如沿远离城市中心的方向上经济状况的变化趋势。空间趋势分析的研究是一个新的课题,在 Ester 等(1997)的研究中提出了两种类型的空间趋势——全局趋势、局部趋势。用邻接路径反映方向的变化,则全局趋势表示沿空间物体所有邻接路径方向的变化模式;局部趋势只讨论沿某一特定邻接路径方向的变化,如沿一条高速公路。趋势检测运用线性回归分析的方法,其数学模型为:$Y=\alpha X+\beta$。其中,X 是与出发点的距离,Y 是非空间属性的预测值,α、β 是回归系数。通过比较 Y 与实际的属性值可以计算趋势的可信度,从而发现有效的趋势。

10)空间分析

空间分析是利用一定的理论和技术,采用拓扑结构分析、空间缓冲区及距离分析、叠加分析等方法,发现目标在空间上的相连、相邻和共生等关联关系,目的在于发现有用的空间模式。

当然,这些方法不是孤立应用的,为了发现某类知识,常常要综合应用这些方法。知识发现方法还要与常规的数据库技术充分结合,将挖掘算法与数据库管理系统集成,不仅可以避免数据的冗余存储和潜在的不一致性,而且可以利用数据库管理系统提供的多种索引结构来支持不同类型的查询,加快算法的实现与执行。此外,除了上述方法外,还有数据可视化技术、知识表示技术等(Tufte,1983)。

2. 城市用地扩展分析中的空间数据组织及空间分析过程

1)地理因子库的建立

城市规划是一门跨越多个领域的学科,对城市规划的制定也是基于城市中各

种基础资料的收集和分析。随着计算机及信息技术的发展，提供了用计算机存储和管理大量数据的新方法。越来越多的资料被收集，数据库的数量和规模呈爆炸式增长，城市规划部门逐渐积累了城市用地利用现状、地质、城市道路交通、绿化、水体保护及城市中各种公共设施分布及相应历年变化情况等信息。这是一个广博的资料体系，它超出了人们从数据库中获取有用的知识和信息的能力。因此，可以建立高于空间数据库的空间数据仓库，遵循一定的原则用多维数据库来组织和显示数据，将不同数据库中的数据粗品汇集精化成为半成品或成品（数据件），稍加整理可被直接利用。

地理因子库是其中的一个重要组成部分，地理因子库定义为描述每个空间单元内各种地理要素（因子）的量化值的数据库。针对数据库的内容，地理因子库有狭义和广义两个范畴。狭义的地理因子库是指来自地形数据库和数字高程模型（digital elevation model，DEM）数据库，包括水系、交通、居民地、地形等方面要素的地理因子库；而广义的地理因子库除此之外，还包括植被分布、土地利用、矿产资源分布、地表土壤构成等专题要素。此外，根据数据库的最小单元，地理因子库可分为两种类型，基于自然边界划分的地理因子库和基于网格的地理因子库。基于自然边界划分的用地可以有多种形式，包括按行政地管辖范围划分、按规划用地类别划分、按用地权属划分；而基于网格的地理因子库的数据库单元，可以人为地根据需要规定，在一定范围内划分 100 m×100 m 至 2 000 m×2 000 m 不等的正方形网格（董春 等，2000）。

地理因子库是用于分析的重要内容，在地理因子提取的时，可利用空间数据仓库挖掘所涉及的技术，包括构建和维护多维数据模型、数据采样、空间数据存取、空间数据泛化、定制数据挖掘模型、数据挖掘和知识可视化表示等，对空间数据进行泛化，以形成高层次的抽象空间数据，并把模型设定用地单元与所提取的各因子按不同方式进行叠加等操作，进行量化处理，得到其上的专题累计值。

2）用地关系模式获取

城市规划空间数据库内存储了空间实体的几何信息（包括位置、形状等）、拓扑信息及其他非空间的属性信息。为了进一步分析城市发展状态，我们需要从空间数据库中提取与空间相关的隐含的知识、空间关系和其他有用模式。无论是空间数据挖掘，还是基于数据的探测性分析（data exploratory），其目标都是为了获取城市发展中可能存在的空间关系或模式，而对于城市规划中的各种用地类别关系的分析，主要体现在以下几点。

（1）同类用地空间相离关系模式发现：通过空间聚类方法，将空间现象的分布特征化；可通过测量同类用地之间的距离，分析同类用地的集聚程度和分布模式，如发现商业用地的集聚模式、小学与医院等公共设施的分布模式等。

（2）异类用地空间相离关系模式发现：获取异类用地之间的距离关系和方向关

系等模式，如居住与小学之间的距离要求、污染工业与居住用地之间的方向关系。

(3)用地邻接关系模式发现：获得相同及不同用地之间的邻接模式，分析各种用地之间的邻接适宜性，空间关联规则发现方法就是获取邻接关系模式的一种方法。

3)城市用地优化配置及用地生长分析

利用解释性的模型处理空间对象和影响其空间分布的因素之间的关系，进行用地优化分析；或利用预测型的模型用来根据给定的一些属性预测某些属性，如用地生长预测。预测型模型包括分类、回归和遗传算法等。

5.4.2 空间特征度量与UG-GA模型下的空间操作

1. 空间度量方式

空间度量方式是指那些能从空间数据文件上获得的量化值，它与空间分布直接或间接关联。对空间特性的度量是联系GIS和空间分析的一个重要桥梁。这是因为空间过程的分析与模拟、城市模型的空间决策都依赖于对空间的度量和表示。在社会经济学科中存在众多衡量社会经济关系的指标，但用来反映空间结构和空间关系的指标却十分有限，其原因是在没有GIS的支持下，空间度量指标的获取、存储和分析难度都很大。利用GIS技术发展有用的空间概念与空间特性的度量是本模型实现的基础。空间度量的存在是以空间操作方式为基础的。基于现有的空间操作方式，空间度量方法也各有不同，常用的包括如下几种。

1)空间定位量测

度量具体的坐标值，通过坐标值可进一步计算并获取距离及空间实体关系值等。

2)空间关系量测

如相邻指数、两类用地相邻几率的计算或两块相关用地的相邻程度计算等。

3)距离量测

获取距离值，包括点到点的距离、点到线的距离等。距离是空间量测的一个重要内容，因为很多信息都是通过距离量测获得，如两块用地之间相互吸引或相互排斥的程度或设定一个合理范围等。

4)面积量测

即通过空间定位信息获取面状实体的面积值，面积是用地的一个基本空间属性，当参与空间承载信息的分配时，可用于计算相关数值式信息的空间分配比率，或直接用于表现用地发展规模等信息。

5)方向量测

由于城市用地的选择和部分用地类别之间的关系受到方向的约束，在定量化表现城市用地空间发展状况时，需要获得相关空间实体方向值。方向值是对方向的一个定量化描述，它是一个相对值，即相对于某一自然流体方向的相对值，如风向、河流流向等，可计算方向偏离程度或方向适宜程度等。

6)对空间承载属性进行度量

指具有非空间数值又与空间相关的属性(如商店周围 1 km 范围内人口数)的数据。由于很多信息不属于空间信息,但是它附属于某一空间,仍是空间的承载信息,对其进行度量对综合分析有重要作用。

空间度量对各种分析都具有不可忽视的作用,利用 GIS 能更准确地进行空间特性的度量,从而使原有的城市模型、空间分析模型更准确。并且由于 GIS 技术的发展,空间度量的结果还可以可视化地表现出来,使过去很难实现的城市模型或空间分析模型有了实用价值。总之,空间度量深化了数学模型的应用,为空间数学模型的实现奠定了基础。

2. UG-GA 模型下的空间操作

城市空间生长是一个多维的,复杂的概念,城市空间生长不是单纯的用地空间的向外扩延,可能是内部使用密度的增加、集聚程度的增加、三维空间的增加,但用地的扩展是其中最重要的、最基础的表现形式。UG-GA 模型主要探讨城市用地空间向外扩展的模拟方法,将在专业数据基础上利用各种空间操作方式进行城市空间生长的分析(如图 5-14 所示)。

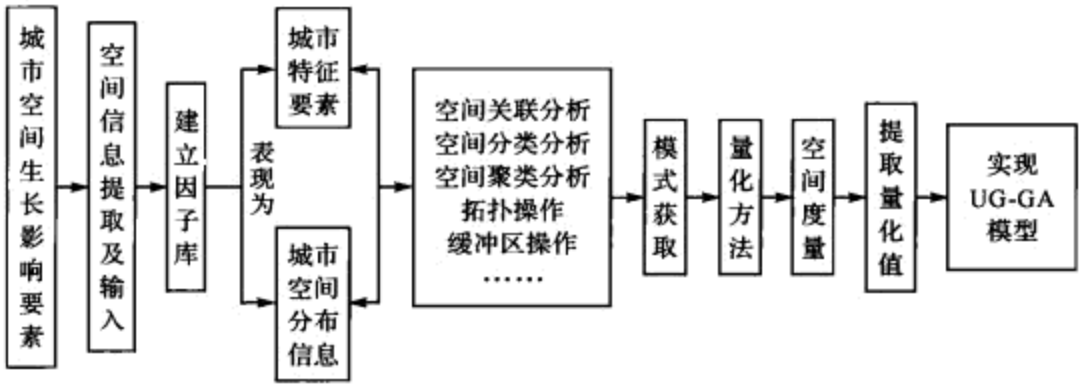


图 5-14 UG-GA 模型的空间操作过程

第6章　城市空间生长布局的多重依据

城市空间生长过程其实就是站在个体角度的用地选择过程及站在城市规划角度的宏观布局过程。如果城市空间生长的规划管理只单独考虑每个生长个体的相关需求，则这个过程将容易和清晰很多，也更容易把握。关键是城市生长过程不只要考虑个体需求，更重要的是要能站在规划管理角度进行宏观布局，统筹各种用地之间的关系。而城市构成要素复杂，构建起的各种要素之间的关系就更是纵横交错、错综难理，通过经验性的推理和直观的判断很难快速准确地引导全局，指导城市向更合理的方向发展。因此，在城市空间生长的规划管理过程中如果能建立理想的数学模型，把能考虑的因素进行定量化地对比，则有助于城市规划管理更好地把握城市未来发展方向。

定量分析基于定性分析基础之上。对于空间布局优劣的判断，无论通过科学常识、相关学科领域还是城市规划理论自身，甚至于通过法律法规和技术规范，都能为我们提供依据。有的以文字描述用地选择的标准，有的以数字界定与周围用地的关系，如服务半径、间距要求等，有的以国家法规条例形式给出操作指导。这些内容虽然是站在某一个角度或者某一类用地的选择或空间定位要求上的，但在论述这些内容时，我们会从中搜索或总结出各种用地之间的相互关系，只是如何把这些关系准确客观地量化表达出来，还是一个需要长期思考的课题。无论怎样，在定量化操作之前，需要相关领域用地布局的理论和技术上的支持，这些有关用地选择的定性或定量的描述为后期模型建立的定量化操作提供了依据。在模型建立和实验过程中，根据研究目标选择相关的限制条件，进行影响因子的筛选和定量化，是模型建立的基本过程，而城市生长用地的选择和空间布局的相关理论和规范则是支持这个过程的重要基础。在此，本书通过以下几个方面反映城市空间生长中的用地选择及空间布局要求，也可根据实际情况参考其他要求，只要能够为用地选择和布局提供确切的依据即可。

§6.1　城市空间生长布局的自然条件约束

城市空间布局需要考虑的因素很广泛，因此在城市规划学科建设过程中可以融入很多相关学科进行综合，形成交叉领域，如城市生态学、城市地理学、城市经济学及城市社会学等。地形、气候等地理和自然条件对城市用地选择具有基础性限制作用，是不受人的意志所左右的，最好的办法就是认识它们、了解它们，并认清城

市空间布局与它们的关系，这也会随着我们对自然界认识的加深而更具体，而城市规划学科也将在这个过程中不断发展和成长。

6.1.1 地形地貌与城市发展空间选择

城市发展的最初是与地形地貌紧密联系的，当城市具有一定规模，向外扩张时，地形地貌仍然对城市用地选择具有重要影响。从生态学的角度考虑，城市总是选择阻力最小的方向发展，也就是向具有最适宜的地形地貌条件和生态环境的方向发展，尤其是城市形成之初，城市一般选择具有以下自然特征的位置进行建设。

1. 河流汇合处

在几条河流汇合处的支流入注主流或入海处，常常形成比较肥沃的三角洲总积平原。三角洲又称河口平原，是由河水从上游携带的大量泥沙在河口堆积形成的。从平面上看，形状像三角形，顶部指向上游，底边为其外缘，所以叫三角洲。

我国的长江三角洲是由长江带下的大量泥沙堆积而成的。据专家考察，在距今大约两三千万年前，长江口地区还是一个三角形的港湾，长江自镇江以下的河口像一只向东张口的大喇叭，水面辽阔，潮汐很强。长江每年带下的四五亿吨泥沙要向大海倾泻，由于入海口的流速减缓，物理、化学环境的改变，使得大部分泥沙在河口地区逐渐沉积下来，最终形成一个尖角形的三角洲。长江三角洲包括江苏、浙江两省部分地区和整个上海市，面积约 50 000 km^2，是一片坦荡的大平原，只有少数小山丘像孤岛一样矗立在平原之上。

由于三角洲平原或河流汇合处地面平坦开阔，为建筑物的合理布局提供了条件，岸线平直，交通运输便利，土肥物富，有一到多层的砾石或砂石层，可满足普通工业、民用建筑的地基强度要求。所以三角洲平原及河流汇合处成为城市建设的优选地段，很多大城市都是在这样的地段建设并发展起来，如天津、广州、上海、武汉等。

2. 河谷阶地

河谷阶地是城市较理想的建设场所，例如流经黄土高原的黄河及其支流因受地壳不断间歇性隆升的影响而形成了 5～6 级阶地，这些阶地多系黄土覆盖阶地。这些地段地面比较平坦，用水及交通方便，便于内河航运，高处阶地地势稍高，少数基岩裸露，以卵砾石和砂石为主，承载力也较高。在这类地段上建设的城市有兰州、福州、吉林、太原、长沙等。

3. 平原或盆地底部

平原是陆地上最平坦的地域，空间宽广且起伏很小，海拔一般在 200 m 以下。大多数平原都是河流冲击的结果，平原以较小的起伏区别于丘陵，以较低的高度区别于高原。平原的类型较多，按其成因一般可分为堆积平原、侵蚀平原和构造平原。其中，堆积平原是在地壳下降运动速度较小的过程中，沉积物补偿性堆积形成

的平原，洪积平原、冲积平原、海积平原都属于堆积平原，长江中下游平原就属于冲积平原。侵蚀平原也叫剥蚀平原，是在地壳长期稳定的条件下，风化物因重力、流水的作用而使地表逐渐被剥蚀，最后形成了侵蚀平原，侵蚀平原一般略有起伏，如我国江苏徐州一带的平原。构造平原是因地壳抬升或海面下降而形成的平原。

世界平原总面积约占全球陆地总面积的四分之一，平原不但广大，地面平坦，起伏和缓，而且地表覆盖层较厚，土地肥沃，水网密布，地下水比较丰富，易于组织内外交通，周围农副业生产发达，一些重要矿产资源，如煤、石油等也富集在平原地带。平原是经济文化发展较早、较快的地方，我国的沈阳、哈尔滨、西安、贵阳、台北等城市都是建设在平原地区。

4. 海滨岛屿

在冲积平原的外围，即临近海岸的地方就是滨海平原，由各河流的三角洲相连而成。海潮和海浪向海岸堆积的泥沙对滨海平原的形成所起的作用也很大。这里的地势极为低平，滨海平原的优势体现在有天然的良港、对外交通方便，水资源丰富，风景优美，地表起伏甚微，场地开阔，多是剥蚀丘陵与海岸坡带，基岩直接裸露或很浅，地基承载力高。因此，海滨地带也同样为很多城市所青睐，第二次世界大战后形成的四个主要国际城市带，包括纽约、东京、伦敦、巴黎均分布在沿海或靠近海岸地区，中国香港和新加坡则是建在海滨岛屿上。

5. 两大地貌单元的分界处

这些地段依山傍水，临平原部位，能增加安全感，交通方便，如北京位于西部高原盆地与东部丘陵交界处，成都位于过渡地带的冲积平原上，乌鲁木齐则在天山与准噶尔盆地过渡带上。

6.1.2　风向对城市空间布局的影响

风向玫瑰图表示风向和风向的频率。风向频率是在一定时间内各种风向出现的次数占所有观察次数的百分比。根据各方向风的出现频率，以相应的比例长度，按风向从外向中心吹，描在用 8 个或 16 个方位所表示的图上，然后将各相邻方向的端点用直线连接起来，绘成一个形式宛如玫瑰的闭合折线，就是风向玫瑰图，图中线段最长者即为当地主导风向。

风向玫瑰图是一个地区、特别是平原地区风的一般情况，它对气候有直接影响。建筑物的位置朝向和当地主导风向有密切关系，如把清洁的建筑物布置在主导风向的上风向，把污染建筑布置在主导风向的下风向，以免受污染建筑散发的有害物的影响。在城市各类用地布局上，依据地方风向特征，应注意以下几个方面。

1. 季风区城市用地布局要求

城市位于季风区，如中国的东半壁盛行季风，冬夏季风向正好相反，频率在 20%～40%，城市规划时要尽量避开冬夏对吹的风向，选择最小风频方位，居住区

布置在其上风向。

2. 主导风向区城市用地布局要求

城市位于主导风向区，如新疆、内蒙古、黑龙江主导风为西风，云贵高原主导风为西南风，青藏高原主导风为偏西风，工厂企业布置在主导风向的下风向。

3. 无主导风向地区城市用地布局要求

城市位于无主导风向地区，应着重考虑风速。由于在无主导风向地区，风向多变，各风向频率相差不大，一般在10%以下，比如宁夏、甘肃的河西走廊，在这些地区布置工业，常使用污染系数(污染系数＝风向频率/平均风速)，将工业布置在污染系数最小方位或最大风速的下风向，居住区布置在污染系数最大方位或最小风速的下风向。也可考虑将有污染的企业布置在污染系数最小的方位或最大平均风速风向的下风向。

4. 准静止风型区城市用地布局要求

城市位于准静止风型区，如以四川为中心的地区及西双版纳地区，平均风速为0.9 m/s，小于1.5 m/s的风频全年平均为30%～60%。在该类地区的城市规划布局上，必须将有污染的工业布置在居住区的防护距离之外，算出污染物质的地面最大浓度及其落点距离。由于污染物质最大浓度出烟体上升有效扩展为10～20倍，因此，居住区应在烟囱有效高度20倍之外的地区，最好在静风区少建污染大气的工业企业。

城市风向是城市用地选择及用地布局的重要依据，对城市用地结构和发展方向的确定有重要指导作用。同时，由于地形、地面情况往往会引起局部气流的变化，使风向、风速改变，因此在进行建筑总平面设计时，要充分注意到地方小气候的变化，在设计中善于利用地形、地势，综合考虑到小气候对建筑布局的影响。

6.1.3 局地环流对城市空间布局的影响

局地环流是特定区域内的特有自然现象，主要包括海陆风、山谷风、热岛环流等。局地环流对城市用地选择及空间布局同样具有重要影响，在特定区域内要认真考虑它们可能产生的后果，充分利用局地环流所表现出来的自然规律进行用地布局。

1. 海陆风对城市布局的影响

从海上吹向陆地的风，叫做海风；从陆地吹向海上的风，称为陆风。如果你在海边住上一段时间，就会有这样的体验，晴朗的白天常有风从海上吹来，而到了夜晚，风又从陆地吹向海洋，这种有规律循环出现的风就是海陆风。由于日间陆地受太阳辐射增温，陆地地面上空空气迅速增温而向上抬升，海面上由于其热力特性受热慢，上空的气温相对较冷，冷空气下沉并在近地面流向附近较热的陆面，补充那儿因热空气上升而造成的空缺，形成海风。而夜间陆地冷却快，海上较为温暖，

近地面气流从陆地吹向海面，称为陆风。海陆风因仅受一天的热力差异影响，能量微弱，风力不大，范围也小，一般仅深入陆地 20～50 km，又称滨海风，在静稳天气最为显著。

海风对抑制中午暑热、调节气候有很好的作用，例如我国拥有千万人口以上的上海市颇得海陆风的恩惠。受海陆风影响，在沿海区域，工厂企业和居住区均平行于海岸布置。

2. 山谷风对城市布局的影响

清晨以后，山风转为谷风，接近黄昏时，谷风转为山风。住在山区的人都熟悉山谷风。山谷风的形成原理与海陆风类似。白天，山坡接受太阳光热较多，成为一只小小的“加热炉”；而山谷上空，同高度上的空气离地较远，增温较少。于是山坡上的暖空气不断上升，谷底的空气则沿山坡向山顶补充，称为谷风。这样便在山坡与山谷之间形成一个热力环流。到了夜间，山坡上的空气受山坡辐射冷却影响，“加热炉”变成了“冷却器”；而谷地上空，同高度的空气因离地面较远，降温较少。于是山坡上的冷空气因密度大，顺山坡流入谷地，形成与白天相反的热力环流，称为山风。在山区城市的用地布局上，一般选择工厂置于谷风的上风方向，而居住区置于下风方向。

3. 热岛环流对城市布局的影响

城市风是指在大范围环流微弱时，由于城市热岛而引起的城市与郊区之间的大气环流。空气在城区上升，在郊区下沉，而四周较冷的空气又流向市区，在城市和郊区之间形成一个小型的局地环流，称为城市风。由于城市风的存在，城区的污染物随热空气上升，往往在城市上空笼罩着一层烟尘等形成的穹形尘盖，使上升的气流受阻，污染物不易扩散，所以上升的气流转向水平运动，到了郊区下沉，下沉气流又流向城市的中心。如果城市的四周有工厂，这时工厂排出的污染物一并集中到城市的中心，致使城市的空气更加混浊，所以城市风在某种情况下能加重市区的大气污染。例如日本北海道的旭川市，人口数仅 20 万，市郊是山地丘陵，市区为平地，在市郊周围山地建了工厂，本意是想让市区避开空气污染源，结果事与愿违，城市风使市郊的烟尘涌入市区，反而使没有污染源的市区污染浓度比有污染源的郊区高出了 3 倍左右，造成了市区的严重污染。因此，在该类地区，城市和郊区之间要规划建设防护林带，城市建筑物与高大烟囱之间的距离要合理。

§6.2　城市主要用地空间生长布局的规划理论支持

城市空间是由各种不同类别用地构成的，不同类别用地承载着不同的社会经济属性，在城市用地规划中，需要对不同类别用地进行综合部署，统一规划。在这些不同类别的用地中，有些用地具有城市发展的主导作用，如居住、工业用地，有些

用地具有城市空间框架构建作用，如城市道路用地、城市商业中心等，城市规划布局尤其重视这些用地的选择。因此，通过进一步归纳、提炼、再加工及量化等工作，这些城市规划理论也成为城市空间生长模型构建的重要基础。

6.2.1 居住用地空间布局要求

1. 居住用地概述

虽然居住的形式、组织方式等在不断发生变化，但居住始终是城市最主要的基本职能，居住是城市居民生活、休息、购物、社交、文化体育等活动内容的统称，是城市生活的基本组成要素之一。随着城市规模的不断扩大，居住地点的规划布局越来越受到重视，进而提出居住区规划理论。按照我国的城市用地分类标准，居住用地进一步分为住宅用地、公共服务设施用地、道路用地及绿地。当前的居住用地中，除了用于居住的住宅用地外，还包括为住宅用地服务的小学、幼儿园、购物及休闲娱乐用地。居住用地的规模限定为人均 18～28 m^2，从城市规划的实践来看，这一数值是基于以多层居住建筑形态为主的情况而来的。居住用地按照其中住宅的高度、建筑质量、与其他用地的混杂程度、市政公用设施水平及环境质量等因素，被分为一至四类，但在实际规划中，会根据不同情况增加居住用地分类，如商住混合、城中村用地等。

2. 居住用地布局要求

社会的发展是一个连续的动态过程，城市的发展也如此，它反映在城市生活方面，就引起城市生活居住在质和量的内涵与外延上的不断扩展，引起其与城市生活的其他组成要素之间互为依存、互相制约关系的不断变化。在工业革命以前，居住功能与商业等功能混杂在一起，出现了一系列城市问题，于是人们开始考虑将不同城市功能相对集中地安排在城市中不同地区，以缓解不同功能之间的相互干扰。而居住是城市的首要功能，因此，在用地组织大的结构上会考虑居住用地的选址，使其符合功能分区的要求。

由于居住用地是城市用地的主体，居住用地一般以小区形式构建，在开发过程中会以附带其他公建及绿地的整体形式出现，从一定程度上具有一定的独立性，因此，在居住用地的选择上，选择面可以更广。城市居住用地规划结构也因此应具有较大的灵活性，一个城市的居住用地可以划分成若干个居住区，并根据城市总体用地布局，以几个居住区为一组，甚至以单个居住区为独立单位灵活合理地将其布置在城市中。具体而言，对居住用地的规划布局就是要为居住功能选择适宜、恰当的用地，并处理好与其他类别用地的关系，同时配置相应的公共设施系统，创造良好的居住环境。由于居住用地在城市用地中占有比较大的比例，所以居住用地的分布形态往往决定了城市总体布局形态，但居住用地的分布既不能过于零散，也不宜在城市中某一地区过于集中地连续分布，尤其是在城市规模比较大的城区，居住用地更趋于形成相

对分散的组团式，成为相对独立的城市用地的有机组成部分（谭纵波，2005）。

6.2.2　工业用地空间布局要求

1. 工业用地概述

大多数城市是由于工业生产发展引起人口集中而形成的。工业生产，一方面吸收市区以外的大量原材料和农产品；另一方面又为社会提供大量的消费商品，为各行各业提供设备、技术，并通过专业化协作带动区域经济发展，同时在工业生产过程中，吸收大量的劳动力，使人口相对集中到城市。工业是城市形成的基础因素，工业的发展促进了城市的发展，工业布置往往决定着城市的规划布局、结构及居民的劳动和生活条件，影响着城市的建筑面貌、卫生条件、交通联系和工程设施。这一切都要求对城市的工业用地做出合理的规划，以满足城市工业发展的要求，使城市本身健康地发展。

工业在城市的配置随着城市的性质、规模，工业的内容、性质，以及工业区的组成、建设条件和自然条件的不同而有所不同。在城市用地规划中正确地配置工业是建立合理的城市结构，有计划地控制城市发展的重要条件之一。其主要目的是为工业的生产和经营及运输管理创造有利的条件，使工业同城市协调发展，保证工业区与居住区有方便的联系，并使城市具有良好的卫生环境条件。

2. 工业用地布局要求

工业用地是城市用地的重要组成部分，其在城市中的布置直接影响到城市功能的发挥。总的来说，根据不同的工业用地分类，其用地规划有不同的空间布局要求。

1）三类工业用地布局要求

三类工业用地，是指对居住和公共设施等环境有严重干扰和污染的工业用地，如采掘工业、冶金工业、大中型机械制造工业、化学工业、造纸工业、制革工业、建材工业、地下矿藏加工工业等用地，主要是指排放大量有害物质和货运量大的工业及具有特殊生产条件（如有爆炸、火灾危险和放射性物质）的工业。这一类工业用地对居住和公共设施等环境有严重干扰，宜布置在远离城市或与城市保持一定距离的地区，且应设置较宽的绿化带；其中有空气污染的应安排在城市的下风向，有水体污染的安排在水源的下游。同时要求这类工业用地要有便利的交通，如钢铁、水泥等重工业，运输成本高，工业区位特点趋向于沿主要交通干线分布，故工业用地多沿公路、铁路、通航河流等交通便捷的区位布置，以降低成本。

2）二类工业用地布局要求

二类工业用地，是指对居住和公共设施等环境有一定干扰和污染的工业用地，如食品工业、医药制造工业、纺织工业、小型机械制造等用地。这类工业用地排放有害物数量不多或不排放有害物质，但货运量大，要求敷设铁路专用线，这对城市居住和公共设施有一定的影响，宜布置在城市边缘的独立地区，布置时宜设

50～100 m的环境保护带。

3)一类工业用地布局要求

一类工业用地，是指对居住和公共设施等环境基本无干扰和污染的工业用地，如电子工业、缝纫工业、工艺品制造工业、小五金、小百货、小型食品工业及小型日用工业品加工等用地。这类工业用地不排放有害物质或排放的有害物微不足道、货运量不大、不需敷设专用铁路线的工业。这些工业对居住用地、环境基本无干扰，可以将这些工业布置在居住用地范围内。

在城市中配置工业区，必须遵循从总体到局部的规划原则，即首先从城市的性质出发，确定城市工业配置的总体系，然后根据城市内工业发展需要和原有工业的改造需要，按照专业化、协作和环境等特点将工业分类，再根据生产的共同性、服务设施和职工居住区的共用性，确定城市中应设多少个工业区。在城市中统一配置工业是城市总体规划的任务，我国城建部门要求在30万人口以下的城市安排1～2个工业区；30万～50万人口的城市安排2～3个工业区。苏联城建部门也规定：在城市工业配置中要求10万～12万人口的城市，宜建立一个大型工业区；在人口超过12万人的城市，适宜建2～3个专业化工业区。

在城市规划中，既要避免把工业集中在城市的一个片区，防止交通和环境污染的集中，又应避免把工业过于分散于城市中，而导致无法提高各种设施的相互协作与使用效率。同时注意工业用地和居住用地间要有便利的交通，不对生活居住区构成污染，例如为方便工人上班，需大量劳力的工业宜接近生活区，而劳力少、占地大的工业区可远离居住区。

6.2.3 城市道路布局

1. 城市道路系统概述

城市道路系统，是指城市范围内连接城市各部分的不同功能等级的所有道路、各种形式的交叉口、广场和停车设施等以一定方式组成的有机整体，是交通活动的通道或场所。城市道路网络布局类型可以归纳为以下几种：方格形道路网、方格环形放射式道路网、环形放射式道路网、线形(或带形)道路网、交通走廊式道路网、手指式道路网与星状放射式道路网等。城市道路布局既是城市交通规划的主脉，又是城市总体布局的骨架，城市道路网络担负着各种机动车、非机动车、行人及地面有轨交通的运行，其网络布局是否合理，关系到城市空间合理发展的大局。道路系统一旦确定，将随着时间长期延续下去，即使遇到自然灾害或战争的破坏，在恢复和重建城市时，也较难改变，将对城市产生深远的影响。

2. 城市道路布局要求

由于城市性质、自然地形等不同，要根据各城市的具体条件，在满足城市交通运输的要求下，选择其中最经济合理的城市道路网方案。总的来说，城市道路布局

主要体现在以下三个方面。

1）结合地形和水文条件

城市道路布局受自然条件影响很大，地形和水文条件对道路网规划有多方面影响，山城与小城、平原与丘陵上的城市路网布局总有很大差异，可以说，有什么样的自然条件，就会有什么样的路网格局。在规划道路线路时，应全面考虑道路在纵断面、横断面上合理结合自然地形的可能性。道路布局应在满足城市交通的前提下，因势利导，结合地形，以减少土石方、节约造价，在丘陵山区，尤应如此。过分迁就地形，导致坡大弯多、路线加长，对养护和运营也不利，还延长了地下管线。而片面强调平直，不但工程和经济上不合理，而且还会使道路陷于路堑内或筑在路堤上，影响与其他道路相交以及路旁其他用地连接。在规划城市道路系统时，要因地制宜，不要拘于形式，要把原则性和灵活性结合起来，作综合技术经济比较，才能收到良好的布局效果，才会有千姿百态能满足城市交通运输需求的道路网系统，同时也会形成各具特色的城市。

2）满足城市用地布局要求

城市道路主要是为交通运输服务的。城市道路网布局合理，不仅要求道路网系统能满足城市交通运输的要求，同时还要满足组织城市用地布局的要求，因为城市各级道路是划分城市各分区、组团、各类城市用地的分界线，同时城市各级道路是联系城市各分区、组团、各类城市用地的通道。道路选线应与城市绿地系统和主要建筑物相配合，形成城市的“景观骨架”。城市用地布局形态与城市道路网布局相互联系、相互影响、相互促进。另外，城市道路和道路网的配置如能结合城市的具体情况，把既有的自然景观（如沿海、临湖、山丘、起伏峰峦等）、应保护的文物（如革命遗迹、古建筑、桥梁、宝塔等）和主要的现代建筑（如电视塔、展览馆、车站、纪念碑等），在不妨碍道路主要功能的前提下，恰当地同城市道路结合起来，既能衬托街景，又能方便旅游，同时更加突出城市物质和精神面貌，则能收到良好而长远的效果。

3）节约用地

充分利用现状、节约用地是城市建设和规划的重要原则。衡量与控制道路用地的经济合理性，常以每个城市居民占用道路用地面积的平均指标（平方米每人）或道路占城市总用地的百分比来表示。目前我国道路广场用地指标，近期定为 6～10 m^2/人，远期为 11～14 m^2/人。节约城市道路用地，降低道路用地的比重，主要是通过合理的道路系统结构，合理地确定道路红线宽度和道路网密度来实现的。道路网密度是指单位城市用地面积中拥有道路的长度（单位：km/km^2）。城市干道网的密度应考虑居民使用公共车辆的方便，不发生阻滞和不浪费建设费用。干道网密度低，居民使用不便，过高则占地多，且增加投资和养护费用。一般大中城市，干道间距宜为 800～1 200 m，干道网密度大致为 1.7～2.8 km/km^2。小城镇

主要道路间距为 500 m 左右。

6.2.4 城市对外交通布局

1. 城市对外交通布局概述

城市对外交通是以城市为基点，与城市外部空间联系的各类交通运输方式的总称，它包括铁路运输、公路运输、水路运输、航空运输和管道运输。城市对外交通是城市形成与发展的重要条件，也是构成城市的重要物质要素，它把城市与外部空间联系起来，是城市与外部保持密切联系、维持城市正常运转的重要手段和通道，它促进城市对外的政治、经济、科技和文化的交流，从而带动城市的发展与进步。城市对外交通设施的用地虽然在城市总用地中所占比例不大，但由于其自身运营的特点，对外交通的用地布局对城市工业、居住、仓库等用地布置都有直接的影响，对外交通枢纽的布置直接关系着城市交通的格局，甚至于关系城市后期的发展方向，因此城市对外交通规划一直是城市用地规划中关注的重点。

2. 城市对外交通布局要求

城市对外交通布局应以城市总体布局为前提，追求城市发展的总体效益，兼顾各类交通运输方式的特点，合理进行城市对外交通综合运输的布局规划，注重城市对外交通与城市内部交通的衔接，保证城市内外交通的连续、协调和共同发展。交通运输设施的布置，要尽量减少对外交通给城市卫生和城市内部交通等所带来的干扰，同时反映城市富有地方特色的面貌及国防上的需要等。针对对外交通的铁路、公路、港口及飞机场等几个组成部分，其空间布局要求分别如下。

1)铁路及站场布局

铁路布局一般要在满足运营技术要求下，尽可能避免对城市的干扰，尽可能将铁路线布置在城市外围且不影响城市进一步发展的地区，当必须穿过城市时，要从城市组团间穿过，减少城市干道与铁路之间的交叉，尽量形成立体交叉穿越，减少对城市的干扰。铁路站场是人流、货流集中的地点。其中客运站与部分货运站与城市的关系最为密切，一般把其靠近城市或城市中心布置，而将有一定危险且与城市活动关系不密切的站场，如编组站、中转货物装卸站等布置在城市边缘甚至于城市以外的独立地段中。

2)公路及站场布局

公路及其相关的客运、货运站场是城市中最常见的对外交通方式。一般情况下，高等级公路在通过规模较小的城市时往往采用沿城市边缘或外围通过的方式。当城市规模达到一定程度，并且在许多方位上设有对外公路时，通常沿城市用地外围布置环状公路或快速路。也可以在特殊情况下穿越城市，但许多小城镇沿公路发展只是初期行为，虽然对城镇有一定干扰，但后期应尽可能避免。客运站可以与铁路客运站或客运码头结合，也可以为避免大城市人流过度集中，单独布置在靠近

对外公路的地点，提供方便的公共交通系统联结。

3）港口及水岸线布局

首先，港口位置要符合航运自身的技术要求；其次，港口位置的选择还要考虑与城市其他功能的配合，如港口与其他运输方式的联运、与工业生产的结合、如何依托城市居住区及生活服务设施等。同时港口岸线也是一种宝贵的自然资源，除了其生产价值，可在滨水空间布置一些市民活动、休闲娱乐的地段或构建城市景观，也可改造成新的商务区、商业服务及文化娱乐地区。

4）飞机场布局

首先，飞机场布局要考虑噪声影响及净空限制对城市建设的影响。一般情况下，为避免飞机起飞降落时越过城市市区上空而产生骚扰，机场的位置宜在城市沿主导风向的两侧为宜，跑道轴线方向宜与城市市区平行或与城市边缘相切，而不宜通过城市市区。其次，为满足机场通信联络方面的要求，避免电波、磁场等对机场导航、通信系统的干扰，在选择机场位置时，要考虑机场周围的高压线、变电站、发电站、电信台、广播站、电气铁路及高频设备等对机场通信的影响，并应按有关技术规定与它们保持一定的距离。另外，与有大量铁轨线路的编组站也应有适当的距离。在机场与城市的距离上，据统计，国内一些国际民航机场与城市的距离一般都已超过 10 km，而据对国外 60 多个机场的统计，距离城市 10～20 km 的机场占 50%。

6.2.5　城市商业中心布局

1. 商业中心概述

商业中心，是指在一定区域范围内组织商品流通的枢纽地带。一般指的是一个城市内部的商业活动集中地区，各种零售商业、批发商业、金融事业和各类服务性行业大量集中，形成城市内的商业中心。对于商业中心概念，西方地理学者普遍把它理解为是由多种商店组成的综合体，即由商业、饮食、服务业及其辅助设施有规律、按比例组合而成的有机综合体，一般都有经营各种商品的一个或几个大型商店，并配备有一定数量的小型专业商店、综合服务场所和停车场等设施，其总面积要求能保证满足商品销售（营业面积）、商品储存（仓库堆栈面积）和顾客服务（包括休息、娱乐场所和停车场）等方面的需要，其总面积一般要求比营业面积大一倍。

2. 商业中心布局要求

商业乃是城市发展的重要标志。在城市化加速发展的情况下，怎样在复杂的城市地域结构中优化商业中心布局，就成为日益紧迫的实践课题。综观现代城市商业中心的等级体系，一般都分成三级，即一级商业中心（或商业网点群区）、二级商业中心和三级商业中心。

一级商业中心相当于市级商业中心，其周围一般伴有商业服务、商业办公及娱乐用地等，并且各种配套服务设施齐全，在一些大城市可能形成中央商务区。由于

在该处活动的人员更具广泛性，这里的公共建筑物体量通常较大、特点明显，因此也是形成城市景观风貌及城市特色的重要地段。该地段要求交通便利、人流集中，因此往往位于城市的几何中心或交通枢纽附近。

二级商业中心相当于区级商业中心，它们大多位于区内交通要道，接近群众。这类商业中心应以中型百货商店、各类专业商店为主，既有商业营业点，又有饮食服务点；既有文化、银行、邮电等设施，也有较多修理服务行业；高中低档商品齐备，以中、低档商品经营为主，吃、穿、用、服务并重，以满足消费者购买基本生活用品为主。二级商业中心的商业网点结构及其布局合理与否，关系到能否减轻对一级商业中心的购买压力、弥补三级商业网点之不足，故而成为城市商业网点布局的重点。

三级商业中心多分布于小街道的交叉路口和居民住宅区中心，主要为附近居民服务。商店类型以粮店、小型综合商店、副食杂货商店、代营代销店等为主，其特点是规模小，铺面小，商品大多是居民日常生活必需、购买次数多、数量零星、花色品种简单、挑选性不大的品种，在方便居民购买商品方面有十分重要的作用。

§6.3 法规与技术规范对城市空间生长布局的限定

现代城市规划理论始于人们从社会改革角度对解决城市问题所作的种种探索。现代城市规划学科主要由城市规划理论、城市规划实践、城市建设立法三部分组成。1900—1918年，欧美一些国家认识到城市规划是政府管理城市物质环境的一项经常的和重要的职能。1909年，英国第一次通过了城市规划法，其后，瑞典、德国等其他欧洲国家相继建立了规划行政机构并制定了相关法律。美国纽约于1916年颁布了控制土地利用和建筑高度的分区区划法规，后来在1961年为适应新情况，修改成为区划决议。制定城市建设法规最初的目的是维持整齐、清洁、安定的城市环境，以保障居民健康。实践证明，城市建设和管理要有相应的法律体系，严格的城市建设法规可以提高城市规划和建设的质量。

新中国成立以来，我国也制定了许多城市规划相关条例，并根据社会经济形势的变化，不断进行修缮，逐渐提升城市规划法律地位。城市规划法规和规范是对城市规划中相关规定的更强有力的支撑。在我国的一些相关法规和技术规范中，我们会寻找到对城市规划过程中城市要素空间布局的法律或技术上的限制。也就是说，除了法律法规中相对粗线条的约束和指导外，由于城市规划涉及内容广泛，对于每一项非常细微的城市要素操作，在全国统一的技术性规范中给出了更加精准的确认，这些，将为城市空间布局提供理论指导之外的强制性的约束，保障了城市空间结构的合理和用地使用的科学性。

6.3.1 《城市用地分类与规划建设用地标准》限定

城市规划的相关技术规范对城市很多方面都有规定，而人均用地标准及用地比例构成是对城市用地规模总体和结构上的限定，这对用地总体安排具有非常重要的指导作用，也成为城市总体规划的重要依据之一。

1. 人均建设用地标准

《城市用地分类与规划建设用地标准》(GBJ 137—90)规定规划人均建设用地指标的分级应符合表 6-1 的规定。

表 6-1　规划人均建设用地指标分级

指标级别	用地指标/(m^2/人)
Ⅰ	60.1～75.0
Ⅱ	75.1～90.0
Ⅲ	90.1～105.0
Ⅳ	105.1～120.0

新建城市的规划人均建设用地指标宜在第Ⅲ级内确定；当城市的发展用地偏紧时，可在第Ⅱ级内确定。同时规定现有城市的规划人均建设用地指标，应根据现状人均建设用地水平，按 GBJ 137—90 中的表 4.1.3 的规定确定。所采用的规划人均建设用地指标应同时符合表中指标级别和允许调整幅度双因子的限制要求。调整幅度是指规划人均建设用地比现状人均建设用地增加或减少的数值。

2. 人均单项建设用地标准

GBJ 137—90 规定编制和修订城市总体规划时，居住、工业、道路广场和绿地四大类主要用地的规划人均单项用地指标应符合表 6-2 的规定。

表 6-2　规划人均单项建设用地指标

类别名称	用地指标/(m^2/人)
居住用地	18.0～28.0
工业用地	10.0～25.0
道路广场用地	7.0～15.0
绿地	≥9.0
其中：公共绿地	≥7.0

3. 建设用地结构要求

GBJ 137—90 规定编制和修订城市总体规划时，居住、工业、道路广场和绿地四大类主要用地占建设用地的比例应符合表 6-3 的规定。

表 6-3 规划建设用地结构表

类别名称	占建设用地的比例/%
居住用地	20～32
工业用地	15～25
道路广场用地	8～15
绿地	8～15

6.3.2 建筑设计规范中的公共服务设施选址要求

除了技术规划中的用地结构和规模的宏观控制要求外，当具体到某一个设施用地的选址上时，还要考虑到更加具有针对性的要求。公共服务设施包括学校、幼儿园、社区医院、居委会办公用房、物业管理用房、菜市场、停车场、自行车棚等，针对所有公共服务设施的总体布局，要求这些和居民生活紧密相关的基层公共服务设施形成网络建设，分布均匀，服务辐射范围全面，并且规模合理。而对个体的用地选择上，一般可在相关建筑设计规范中寻找，在这些技术设计规范中，除了提供基本的选址要求外，还提供了具有量化特征的距离要求，这些都将为服务设施用地选址和布局提供重要依据。

1.《中小学校建筑设计规范》(GB 8771—88)的校址选择要求

(1)校址应选择在阳光充足、空气流通、场地干燥、排水通畅、地势较高的地段。校内应具备布置运动场的场地和提供设置给水、排水及供电设施的条件。

(2)学校宜设在无污染的地段。学校与各类污染源的距离应符合国家有关防护距离的规定。

(3)学校主要教学用房的外墙面与铁路的距离不应小于 300 m；与机动车流量超过每小时 270 辆的道路同侧路边的距离不应小于 80 m，当小于 80 m 时，必须采取有效的隔声措施。

(4)学校不宜与市场、公共娱乐场所，医院太平间等不利于学生学习和身心健康及危及学生安全的场所毗邻。

(5)校区内不得有架空高压输电线穿过。

(6)中学服务半径不宜大于 1 000 m；小学服务半径不宜大于 500 m。走读小学生不应跨过城镇干道、公路及铁路。有学生宿舍的学校，不受此限制。

2.《托儿所、幼儿园建筑设计规范》(JGJ 39—87)中的托儿所、幼儿园选址要求

(1)4 个班以上的托儿所、幼儿园应有独立的建筑基地，并应根据城镇及工矿区的建设规划合理安排布点。

(2)托儿所、幼儿园的规模在 3 个班以下时，也可设于居住建筑物的底层，但应有独立的出入口和相应的室外游戏场地及安全防护设施。

(3)应远离各种污染源，并满足有关卫生防护标准的要求。

(4)方便家长接送，避免交通干扰。

(5)日照充足，场地干燥，排水通畅，环境优美或接近城市绿化地带。

(6)能为建筑功能分区、出入口、室外游戏场地的布置提供必要条件。

3.《综合医院建筑设计规范》(JGJ 49—88)中的医院选址要求

《综合医院建筑设计规范》规定综合医院选址应符合当地城镇规划和医疗卫生网点的布局要求。基地选择应符合下列要求：

(1)交通方便，宜面临两条城市道路。

(2)便于利用城市基础设施。

(3)环境安静，远离污染源。

(4)地形力求规整。

(5)远离易燃、易爆物品的生产和储存区，并远离高压线路及其设施。

(6)不应邻近少年儿童活动密集场所。

4.《图书馆建筑设计规范》(JGJ 38—99)中的图书馆选址要求

《图书馆建筑设计规范》规定图书馆选址和总平面布置应符合以下要求：

(1)馆址的选择应符合当地的总体规划及文化建筑的网点布局。

(2)馆址应选择位置适中、交通方便、环境安静、工程地质及水文地质条件较有利的地段。

(3)馆址与易燃易爆、噪声和散发有害气体、强电磁波干扰等污染源的距离，应符合有关安全卫生环境保护标准的规定。

(4)图书馆宜独立建造。当与其他建筑合建时，必须满足图书馆的使用功能和环境要求，并自成一区，单独设置出入口。

5.《商店建筑设计规范》(JGJ 48--88)中的商店选址要求

(1)大中型商店建筑基地宜选择在城市商业地区或主要道路的适宜位置。大中型菜市场类建筑基地，通路出口距城市干道交叉路口红线转弯起点处不应小于 70 m。小区内的商店建筑服务半径不宜超过 300 m。

(2)商店建筑不宜设在有甲、乙类火灾危险性厂房、仓库和易燃、可燃材料堆场附近；如因用地条件所限，其安全距离应符合防火规范的有关规定。

(3)大中型商店建筑应有不少于两个面的出入口与城市道路相邻接，或基地应有不小于 1/4 的周边总长度和建筑物不少于两个出入口与一边城市道路相邻接。

(4)大中型商店基地内，在建筑物背面或侧面，应设置净宽度不小于 4 m 的运输道路。基地内消防车道也可与运输道路结合设置。

(5)新建大中型商店建筑的主要出入口前，按当地规划部门要求，应留有适当集散场地。

(6)大中型商店建筑，如附近无公共停车场地时，按当地规划部门要求，应在基地内设停车场地或在建筑物内设停车库。

6.《城市生活垃圾卫生填埋处理工程项目建设标准》(建标[2001]101号)中的垃圾填埋场选址要求

按照《城市生活垃圾卫生填埋处理工程项目建设标准》的要求,垃圾卫生填埋场应选择在交通方便、运距合理、征地费用较低、施工较方便、人口密度较低、土地利用价值较低的地方。从气象角度看,应位于城市夏季主导风向的下风向,距人畜居栖点500 m以外;从流域角度看,应远离水源,尽量设在城市地下水流向的下游地区。

6.3.3 相关法规的用地保护要求

城市规划相关的法律法规上一般从概念上给出用地分区和用地使用的限制手段,这些同样可以给用地的使用以重要的依据,尤其是对生态和文物古迹的保护,国家法律条例上已明确规定了保护的类别、范围或详细的用地说明,在此,也只给出风景名胜及自然保护区的用地保护划分要求,关于其他相关保护规划读者可进一步查阅相关资料。

已于2006年9月6日通过的《风景名胜区条例》,其第四章中明文规定风景名胜区内的景观和自然环境,应当根据可持续发展的原则,严格保护,不得破坏或者随意改变。要求不能违反风景名胜区规划,在风景名胜区内设立各类开发区和在核心景区内建设宾馆、招待所、培训中心、疗养院,以及与风景名胜资源保护无关的其他建筑物;已经建设的,应当按照风景名胜区规划,逐步迁出。同时要求在风景名胜区内进行建设活动的,建设单位、施工单位应当保护好周围景物、水体、林草植被、野生动物资源和地形地貌。

《中华人民共和国自然保护区条例》规定自然保护区可以分为核心区、缓冲区和实验区。自然保护区内保存完好的天然状态的生态系统及珍稀、濒危动植物的集中分布地,应当划为核心区,禁止任何单位和个人进入;除依照规定经批准外,也不允许进入从事科学研究活动。核心区外围可以划定一定面积的缓冲区,只准进入从事科学研究观测活动。缓冲区外围划为实验区,可以进入从事科学试验、教学实习、参观考察、旅游及驯化、繁殖珍稀和濒危野生动植物等活动。原批准建立自然保护区的人民政府认为必要时,可以在自然保护区的外围划定一定面积的外围保护地带。在自然保护区的核心区和缓冲区内,不得建设任何生产设施;在自然保护区的实验区内,不得建设污染环境、破坏资源或者景观的生产设施;建设其他项目,其污染物排放不得超过国家和地方规定的污染物排放标准。在自然保护区的实验区内已经建成的设施,其污染物排放超过国家和地方规定的排放标准的,应当限期治理;造成损害的,必须采取补救措施。

第7章　UG-GA模型框架及构建机制

§7.1　基础层用地单元划分方法

用地单元是功能实现的基础，以地块为基础的城市生长的分析，地块的划分方式将对模型的实现有一定的影响。如果地块的表现形式更符合城市发展的实际情况，则对城市发展的描述更精确。当前，对于用地类别单元及管理单元，其大小、形式各有不同。在遗传算法中，也可选择不同的单元形式，不同的单元形式选择将对遗传算法的结果产生不同的作用和影响。

7.1.1　城市用地单元

1. 城市用地单元特点

由于人工控制，城市中的地块比自然形成的类别地块规整，形状相对稳定，具有地理位置特性和承载特性；对于地理位置特性而言，它具有不变性与平铺性，而对于承载特性而言，它具有多变性与重叠性。

2. 城市用地单元类别

城市空间单元可有各种各样的划分方式，小到一个房屋、一块宅前绿地，中到一个街区，大到一个行政管理区，其表达的含义也是多种多样。在此，按不同需求、不同使用目的，城市空间单元可分为如下几个类型。

1）纯分析型

只用于用地分析，其边界的确定只考虑分析上的使用，如城市所有小学的服务范围。研究城市生长的虚拟城市地块单元，也可以根据分析需要，把地块划分不同大小的规则地块，其形式规整，便于算法的实现和使用。

2）管理与分析型

既可用于用地的管理，也可用于用地的分析，用地的边界可以根据现已存在的某种界线划定，如道路或者权属边界等。如宗地、规划管理地块单元等，它们主要按自然或人工建设边界划分，其边界任意走向，无规律。

3）非限定地块

在非限定地块内，考虑地块内部的建筑形式，建筑形式要求地块形式进行修正时，根据地块的预先规划调整地块的大小和边界。

4)限定地块

在限定地块内,地块形式的确定决定了地块内部建筑形式,即建筑形式服从地块形式。

7.1.2 城市规划用地单元划分

1. 城市规划管理中用地单元划分层次

在城市规划中,从用地调查到用地规划再到用地管理,都是以城市地块单元为单位。城市规划中的地块单元是城市未来土地利用模式的表现载体,是城市建设管理的一个依据,城市规划中的地块单元的划分形式及划分方法对分析城市空间构成及探讨城市发展模式等具有重要作用。在城市规划中,城市用地依据城市总体规划、城市控制性详细规划及城市用地管理对城市用地进行由上至下的逐步细化。

1)城市总体规划中的用地单元

从宏观分析的角度,城市总体规划中的用地单元按以大类为主、中类为辅的原则进行划分,城市结构的控制建立在宏观层次的地块划分上(如图 7-1 所示)。

2)城市控制性详细规划中的用地单元

城市控制性详细规划在规划过程中具有承上启下的作用,它是以城市总体规划或分区规划为依据,以落实总体规划或分区规划的目标为目的,以土地使用控制为重点,强化规划设计与管理结合、规划设计与开发衔接,将总体规划或分区规划的宏观控制要求转化为微观具体控制要求的规划编制层次。它既是连接总体规划或分区规划与修建性详细规划的关键层次,又是体现规划与实施、规划与管理密切结合的重要环节。城市控制性详细规划中地块单元划分主要按照以中类为主、小类为辅的原则进行划分(如图 7-2 所示)。



图 7-1 总体规划用地单元



图 7-2 控制性详细规划用地单元

3)城市用地管理单元

城市建设的实施是建立在微观层次的地块单元划分上。在微观层次中,要事先预见建筑的形式、体量、占据空间位置、建筑形式与地块形式之间的关系等,从而

进行城市景观和生态环境的控制。

2. 城市规划用地单元划分考虑因素

城市规划单元的划分对准确指导城市建设，保证城市建设的连续和持续性有重要意义，也使得规划本身更具有实际意义。由于地块的划定对规划用地性质的确定具有限定性作用，地块划定的依据性越强，规划的科学性就越强。地块的划定不是唯一的，可是一旦确定，就成为管理的依据，地块的划分应考虑多方面因素，主要包括以下几方面内容。

(1)地块大小与用地性质相适宜。

(2)尽量保持地块使用性质的单一性。

(3)空间单元划分的一致性要求，即两种不同专题形成的边界是否具有一致性和冲突性。

(4)照顾户主用地产权，兼顾基层行政管辖界限。

(5)以城市道路、街道、河流等作为地块的界线，局部也可以围墙为界。

(6)满足标准厂房、仓库、综合市场等特殊功能要求，适应建筑群体组合及城市设计需要。

(7)旧城改建中还应考虑合并同性质、同质量建筑的可能性。

3. 城市规划用地单元划分应注意的问题

地块的划分应因地制宜，在保障城市可持续发展的前提下，应尽可能地满足城市建设开发的需求，在此应注意以下几方面问题。

1)用地规模控制

在城市规划中，最小地块的划分是控制城市用地的有效手段，在我国土地政策进行改变、土地走向市场以来，土地的管理已与国际接轨，城市建设靠多渠道开发、靠非政府投资已是一个广泛存在的现象。土地市场与城市规划管理接轨，土地的征用与城市规划建设相协调都是非常重要的。土地市场中政府对城市土地的管理直接影响到规划实施的效果，而规划中对规划地块的划定也直接影响到开发商对地块大小、可能投资、开发可行性等的考虑，而影响到开发商对城市用地的开发投资，或者用地开发效果。地块的用地规模应适中，便于规划管理、实施和用地批租。地块过大，不得开发实施，地块过小，不利于形成完整统一的建设面貌。一般而言，混合用地宜小块、细分，单一性质用地如工业区、住宅区宜大块、粗分；旧城区宜小块、细分，新建区宜大块、粗分；道路两侧重点区段宜小块、细分，一般地区宜大块、粗分。

2)位置条件的利用

不同位置条件会带来不同的开发效益，如沿街面多、商业效益好、沿湖面大、景观条件好。在划分用地时，有时应使有利条件均等，有时应有意识造成差别，形成开发政策的倾向性，鼓励开发或限制开发。

3)地块形状控制

地块形状应尽量规整,长宽比例适中,方向适宜,应利于修建性详细规划阶段的建筑布置,合理经济利用土地。例如,狭长地块不利于建筑尤其是住宅布局,既影响开发建设的经济效益也不利于节约用地。

§7.2 决定城市空间生长格局的因素分析

7.2.1 决定城市空间生长规模的基本因素

决定城市空间生长的基本因素限制和影响着城市未来用地发展的可能规模。虽然在城市空间扩展过程中,根据城市用地的区域背景因素及现状地域条件,各种职能的城市土地利用及其区位组合均向有利于城市高效发展、有利于与生态环境和谐相处的方向发展,但是在城市发展规模上,它受城市的经济发展水平影响,体现在:①城市经济发展水平、各类产业发展状况对城市化水平的影响;②城市化水平对城市人口及用地规模的影响。

7.2.2 影响城市空间生长行为的主要因素

城市空间扩展和结构演变不仅受制于社会经济发展,还受到土地市场、交通条件、技术条件、自然条件等因素影响,它是各项活动区位的综合效应。城市和城市经济发展的空间条件、自然条件、历史条件和社会条件是城市先天生成的客观条件,是很难在短时期内以人的意志为转移的。因此必须尊重这些条件,充分利用这些条件。在城市用地扩展上,影响因素多种多样,概括地讲,主要体现在以下几个方面。

1. 自然条件因素

1)地形坡度、地基承载力

自然条件因素是指自然地理条件对城市用地发展的适合程度。任何一个城市都是坐落在具有一定自然地理特征的地表上,其形成、建设和发展都与自然地理因素有密切的关系。地理位置、地质、地形、地貌、气候、水文、资源等自然地理要素相互交叉组合在一起,构成了城市存在和发展的物质基础,形成了城市区域自然地理环境。可以说,自城市产生之日起,自然地理环境就成为城市空间扩展的十分重要的基础条件。它通过各要素反映出来的自然地理环境特征,直接影响城市空间扩展的潜力、方向、速度、模式及空间结构,在有些城市,它成为城市空间扩展的“门槛”。例如,平原地区的城市,因地形比较平坦,城市用地较为开阔,城市大多以同心圆式向各个方向均衡地发展为块状;多山的河网密布地区城市,城市往往依山面水而建,城市建设条件较复杂,建设难度较大。城市空间的扩展很大程度上受地形

限制，或沿狭长谷地、河流带状发展，或被山体和丘陵分割成组团式发展，或跨江成组团状发展。

虽然，随着科学技术的进步和经济的发展，人们克服自然的技术及改造自然的能力在不断增大，但自然地理环境仍将是影响城市空间扩展的载体因素。因此，自然地理环境对于城市空间形成与扩展而言，是“有此未必然，无此必不然”的因素。

2）地质、地震、洪水

在城市建设时应考虑地质、地震、洪水等自然灾害的影响。一般情况下，在洪水风险地区，根据 100 年一遇、50 年一遇、20 年一遇、10 年一遇进行区分，地质地震区域按其可能产生危险的程度进行分区，为城市用地的发展选择提供参考。

2. 社会需求因素

城市空间生长行为的社会需求影响因素主要表现在由城市土地利用、城市公用设施和运输系统扩展的可能及区位社会历史背景等不同导致的用地需求程度的差异上。它主要包括以下几方面。

1）待开发建设用地使用状态

不同类型用地的适宜建设情况不同，待开发用地类型一般为耕地、林地、水域、居民点、工矿用地、交通用地、园地、牧草地和未利用地。从适宜城市建设和居住的角度讲，耕地是较为适合的，而林地、水域、园地等土地利用类型是不太适宜作为城市建设用地的。

2）城市原有基础

尽管城市扩展的发展变化主要发生在以后，但是以前的城市景观形态和格局是城市发展的基础。原有城市历史与规模大，则发展基础好。城市会依附于原有的城市发展，以利用原有的社会公共设施及工业等基础。从城市新区开发上，根据实践的经验教训，也应当遵循依托旧区和现有对外交通干线、就近开辟新区、循序滚动发展原则，这有利于解决职工工作和居住两地的矛盾，尽快形成新区（邹德斌，2002）。

3）城市基础设施

城市基础设施包括供水、排水、供暖、供气、供电设施等，城市基础设施是城市发展的必然基础，是任何城市建设的基础条件，是现代城市必不可少的。城市吸引力与辐射力的大小关键在其基础设施建设的好坏。通过城市交通、供水、供电等基础设施的改善，可以改善投资环境，吸引外资，促进城市建设。市内的各种交通廊道是城市用地建设的基础设施之一，其他基础设施一般随路建设，路开到哪里，它就会延伸到哪里。从某种角度看，城市基础设施是城市建设的基础条件。其中，道路交通建设对扩展具有指向性作用。城市作为区域的中心，其与区域及区域外的物质联系主要靠对外交通来实现。因此，交通的发展促进了城市空间扩展并改变城市外部形态，是城市空间扩展的主要动力，对城市空间扩展具有指向性作用。以

我国城市为例，在铁路出现以前，城市对外联系主要依赖水运，城市多位于水运要道并沿河流带状发展，城市空间扩展方向几乎全随河道走向，尤以南方水网地区的城市为甚(范今朝 等，2001)。19世纪后期，铁路的出现改变了城市沿河单一扩展的方式。20世纪50年代中期，我国城市汽车运输有了较大发展，沿路伸展成为城市空间扩展的主要方式。同时，公路的发展与铁路、水运相结合，使我国城市空间扩展也由沿河或沿铁路单一扩展转为沿河、沿铁路或公路多方向扩展，空间扩展更具灵活性。因此，对外交通线路的开辟与建设往往成为城市空间扩展的伸展轴，对城市空间扩展具有指向作用。同时，城镇快速交通和现代化交通、通信等设施条件的发展，为企业和居住区与城镇中心区拉开较大的空间距离创造了条件。

4)社会服务设施

社会服务设施包括文化教育设施、医疗卫生设施、文娱体育设施、邮电设施、公园绿地等。社会公共服务设施是人们生活的重要组成部分，人们生活的方便与否与此有重要关系。公共服务设施越完备，表明此处的生活环境越优越。例如，生活方便、业余生活丰富、交通方便、就业机会多等条件就是城市中心吸引人的原因。

5)污染状况

污染状况主要指影响环境质量的大气、水、噪声污染。污染源的出现对于一个现代城市是难以避免的，在城市建设时，要尽可能考虑通过一定的方式减轻污染程度，减少对人们生活和生产的干扰，其周围用地建设要尽量选择对其存在敏感性小的用地类别。

6)人口密度与建筑密度

随着经济社会的发展，人们对居住质量的要求也在不断地提高。人均居住面积的增加，以及居住环境的改善使得个人对居住空间的需求在加大。城镇中心区人口过密、住房拥挤、居住环境质量下降，部分居民为改善条件或追求较好的居住环境而外迁。20世纪80年代高容积率的住宅小区已经不能满足居民对居住的要求，在条件允许的情况下，人口密度低、舒适、安静的居住氛围更能以环境优势成为现代人追求的理想位置，因此适当的人口容量，将更有利于创造良好的人居环境，吸引人们工作定居。

7)历史文化

无论是山丘还是湖泊，它们往往是历史时期各类文献记载的标志性地理实体，对它们的格外保护，具有自然和历史文化的双重意义。历史文化既可延续城市文脉，也能体现城市个性与特色，更是城市今后在竞争中发展的最大资本，如果在这些地带人口集聚过多，人类活动过度频繁将会给自然生态环境带来毁灭性的破坏。因此对于重要的自然和人文景观，在其周围一定的地域范围内留出足够的缓冲空间，使人类活动对其的破坏影响降到最低，从而延续城市珍贵的历史文脉。

3. 经济与技术因素

1)经济因素

市场发育及经济活动对城市用地扩展具有一定影响。城市土地区位的涵义，除包括以地理坐标表示的几何位置外，更重要的是经济地理位置，即某一地段与周围经济环境的相互关系，如商业服务中心、高级商务金融集聚区、集贸市场等位置对城市的销售等商业功能具有重要意义，离其越近的用地将会具有更高的社会经济效益，将会得到最快发展。它既包括有形的区位，如土地所在位置距就业中心、交通线路远近等；也包括无形的因素，如经济发展水平、社会文化背景等。按经济学的分析，城市土地不同用途之间的合理分配的基础是价值最大法则，也就是说土地所有者追求最大地租，土地使用者则寻求生产过程中的利润最大而使地租等于其边际产出价值。

2)产业与技术因素

科学技术的发展水平对城市用地选择具有一定影响，产业与技术因素导致城市空间布局方式的改变。城镇产业结构的升级促成第三产业向城镇中心区的集聚和第二产业向外围的扩散(王晶，2001)；城市中的某些原有企业的低效益用地从城市中迁出，在城市外围形成新的工业园区；信息技术的发展则使很多大型公司把其本部留存市区，而把生产基地迁至城市郊区。同时，为把信息技术转化为信息产业，城市中的新技术园区也是城市发展的一个热点。

3)建筑和房地产活动因素

房地产开发会根据收益的可能性选择可建设的位置，从而通过房地产活动促进城市的建设，房地产行为具有经济特征，它受市场供需情况影响(钱昆润 等，1999)。

4)土地市场

主要是城镇土地开始进入市场，土地需求的压力推动接近最可达点处的土地价格的上涨，城市结构与城市用地选择也受制于土地价格(杜忠潮，2001)。

4. 政策与政府行为因素

1)土地使用规划、城市规划

我国城市规划工作虽取得了很大成绩，对城市空间扩展起到了引导、控制作用，但仍不乏地方长官意志支配城市规划的现象，不少城市的规划普遍存在规模过大、目标过高、求新过急、道路过宽的现象，致使城市空间扩展极为迅速。城市规划控制和按自然规律发展的城市建设是相互限制的，城市规划对于城市格局及其演变起着决定性的控制和影响作用，这可预防城市的盲目发展，但是规划的制定是建立在城市自然发展要求基础上的。一般说来，在城市规划严格控制下所形成的城市景观，其功能分区明显，形态相对规则、简单。如果缺乏城市规划或规划控制不力，则会导致城市景观功能分区混乱、景观形态复杂。由于受国家和地方社会经济

发展政策的影响，在不同的时期，城市规划的指导思想不同，规划控制的政策不同，所以城市规划方案并不是一成不变的。

2）房地产税

税收是政府实行公共干预的主要方式，也是引导和协调城市空间结构的有效手段，地产税也是调节城市土地利用效率的重要杠杆。土地税制本身的设计也会影响土地税对城市空间结构的调控作用，如在一般地价课税的基础上开征特殊的土地空置税、荒地税等目的性较强的税种。另外，对于外在效益显著的城市开发活动，政府也可以通过采用各种优惠的税收政策加以鼓励。

3）政策、法令、法规和条例

政策与政府行为对用地开发具有导向性和控制性作用，政策与政府行为是调动城市经济发展的多种因素能否发挥最大作用的重要条件。政府要在宏观上把握城市开发的地点、程度和时机，控制开发的量和度，合理调控城市空间布局，实现城市的可持续发展。例如政府在远离中心区建设卫星城镇或设立开发区、经济技术开发区、高新技术开发区、各类工业园区，并以各种优惠的政策促使其对工业和科技产业具有吸引力，从而带动该处的发展；或者通过政府行为保障城市公共性、公益性土地和基础设施配置，如城市道路交通设施、市政基础设施、公共服务设施、公共绿地设施等。

7.2.3 用地协调发展因素

城市是一个庞大的系统，土地利用的相互关系越来越复杂，各类用地及其功能既有相互关联、互补的一面，又有相互矛盾、排斥的一面。城市规划的城市总体布局目的是协调用地发展，保障城市安全和高效运转。因此，要在城市规划前考虑如何合理组织城市用地和空间，既要考虑合理的分区，又要考虑功能相近的用地彼此的包容性，保障城市各项功能的协调和整体运行效率。总的来说，城市各个用地空间组成之间应有密切联系，相互协调，统筹安排，从而发挥最大效益。

7.2.4 城市空间生长影响因素分类

城市空间生长影响因素涉及社会经济等领域的方方面面。但它们如何存在于空间，又具有什么样的空间特征，对城市空间生长的量化操作具有重要意义。在此，我们把城市空间生长影响因素按不同的空间特征进行分类。

1. 按空间存在形式划分为物质型和意识型

物质型影响因素在空间上有明确的边界和范围，相对而言，更容易获得它们的空间定位信息，并确定附属于其上的空间属性特征，如城市用地现状分类情况、城市高层建筑分布、城市自然地形地貌特征等。

意识型影响因素不直接产生于物质实体，它主要产生于人的意识形态，这类影

响因素的作用不能在空间上直接表现出来，它需要中间过程把它映射在相应的空间范围上，并对该范围内的用地产生作用，如制度的制定、规划的引导、技术创新、税收改革等。意识型影响因素在空间并不存在，其映射到空间的界线也有一定模糊性。

2. 按空间稳定性划分为稳定型和流动型

稳定型影响因素在空间上具有稳定性，不会随着时间的改变而改变，或在较长时间内不容易改变，如自然山体、河流的空间分布，或那些不容易改变的城市基础设施。它们的特点是：一旦数据库建成，其数据相对稳定，不需要经常维护。

流动型影响因素在空间上具有不稳定性，它们的空间位置会随着社会经济的发展而发生变化，如城市商业中心分布、国家大型投资项目等；即当经济发展状况或城市发展计划发生变化时，这类影响因素的空间分布及其对周围用地的影响都会发生变化。相对于稳定型影响因素，这类影响因素的数据需要定期更新和维护。

3. 按空间分布特征划分为独立分布型和关联分布型

独立分布型影响因素是表达独立空间对象的数据，如独立存在的房屋、湖泊等，独立分布型影响因素数据主要有：

(1)工业用地、商业中心分布数据。

(2)小学、中学、医院、消防设施分布数据。

(3)铁路站点、飞机场、港口、客运站分布数据。

(4)绿化分布数据。

(5)近期建设项目分布数据。

(6)污染源及范围分布数据。

单个独立分布型影响因素，在空间操作上可以采用直接的距离量算方式，多个独立分布型影响因素则可以采用距离量算方式，也可采用缓冲区操作获得这类影响因素的空间归属，再进行缓冲区内相关属性值量算。

关联分布型影响因素是表达关联空间对象的数据，这类数据所描述的空间对象之间相互联系，拥有共同的边界或者结点。关联分布型影响因素数据主要有：

(1)用地坡度、地质构造数据。

(2)洪水淹没等级分布数据。

(3)城市地价分布数据。

(4)容积率分布数据。

(5)建筑密度分布数据。

(6)城市道路分布数据。

关联分布型影响因素多用缓冲区操作获取与其关联范围内用地信息，再结合其他空间操作方法进行缓冲区内的特征值量算。

7.2.5 不同类用地增长作用因子差异

1. 居住用地空间生长的主要影响因素分析

居住职能是城市用地职能中最基本的一项职能。居住迁移是驱动区域与城市系统空间结构演变的主要因素，长期以来一直是各家研究的热点，因而形成了关于迁居的各家学派。由经典的城市结构理论和住宅区位理论，如同心圆理论和劳瑞模型等可知，在西方工业化时代，影响人们选择居住区位的因素主要是聚集经济利益、交通费用和土地价格，而这三者又与就业区位有着密切的联系，其中，交通条件无疑又处于最重要的位置。随着交通技术和交通工具的不断改善，整个城市形态和人们对居住区位的选择也在不断地进化。而社会学家把迁居看做居住个体维护社会地位的需要，住宅将按不同收入、不同层次、不同种族等形成不同空间分区、如人口密集混合功能旧城区、干部居住区、工人居住区、农业人口散居区、知识分子居住区等(姜巍 等，2003)。经济学家认为居住要选择最佳的经济区位，而该区位是受多种因素决定的，如就业区位、家庭结构、经济收入等因素的变化，当该家庭的现状居住区位与理想区位产生位势差，将会引起家庭潜在的迁居行为。在居住区位的选择中，收入水平与工作地点之间的关系表明，当月收入超过一定水平后，居住区位选择对工作地点的依赖性明显减弱；各种收入阶层的居民，在选择居住环境时，对商业环境的依赖性都已经不再强调。这显然与近年来商业网点的不断扩散与完善有很大的关系。生态学家把人口迁移看做是城市生态位势的趋动，所谓城市生态，是它所提供给人们的或可被人们利用的各种生态因子(如水、能源、土地、气候、建筑和交通等)和生态关系(如生产力水平、环境容量、生活质量等)(彭晓春 等，2002)。信息化社会也是一个经济富裕的社会。在这个社会中，多数居民对生活的追求，不仅将超越生存阶段，而且将超越发展阶段并进入享受阶段，且更加注重对自然环境与社会文化环境的选择，因此，优美的自然环境、浓郁的文化氛围和宽敞舒适的住房，无疑将成为一种重要的生活时尚。在信息化时代，不仅各种知识产业与服务业能与居住环境很好地融合，而且各种制造业对居住环境的干扰也将大大减少(陶小马 等，2003)。当然，不同的收入阶层，对环境与交通条件选择的要求也是不一样的。当收入相对较低时，一部分购房者愿意住到市中心以外，以谋取较低的房价，同时以较低的代价获取较好的自然环境。收入较高者对社区环境最为重视——包括教育环境、文化环境、治安环境及其他各种社会服务环境；对这部分居民来说，不管住在哪里，良好的生态环境都体现了一种对生活质量的更高追求，尽管代价较高，但由此获取的效用满足程度更高。

总的来说，居住用地首先会考虑住宅的生态环境和生活环境，它一般会选择以下位置：商业中心附近、物资集散中心附近、教育网点附近、公园附近、医疗机构附

近、交通便利的公共交通路线附近。例如，近年来我国城市发展中常见的单一功能型新区——房地产开发区，成为人们居住的主要选择地，不同的人根据各自的需求和能力对不同开发区进行选择（如图 7-3 所示），因为房地产开发区自然倾向于那些既方便生活又利于工作的交通便捷、环境优美之地。

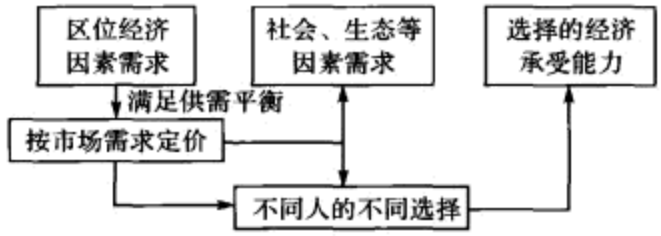


图 7-3　居住用地的区位选择

2. 工业用地空间生长的主要影响因素分析

企业的区位选择受到城市政策和投资商两方面的影响。城市政府为了城市健康发展，为城市制定了产业发展政策，而投资商将会从自身利益来确定企业的位置。政府将会利用各种经济和法律政策来约束和规范城市工业企业空间增长。工业部门生产方式不同，企业规模大小不同决定了工业对选址要求的差异，结果导致了城市用地布局的复杂多样性。

1）工业用地扩展的一般特征

（1）以劳动密集型的轻工业为主导，用地集中于旧城区内。

（2）以资金密集型和技术密集型的基础工业为主导，工业用地成组布局在旧城镇边缘。

（3）依托大型港口的开发，建设以冶金、电力、石油化工等能源、原材料为主的大型工业区。

（4）以利用高新技术知识的密集型产业为主导的新兴工业部门用地分布范围广范。

2）工业用地选择条件

工业用地是城市，特别是工矿城市用地的重要组成部分，工业用地选择与居住用地有很大差别，工业用地选择主要考虑以下条件。

（1）用地条件。

（2）供水条件与供电条件。主要由于有些工业用水、用电量较大，且有专业要求所致。

（3）交通运输条件。大型企业，特别是用水量大、能源消耗大、运输量大的企业的布置，应充分考虑提供基础设施和交通运输条件的可能性。

（4）工业生产的环境卫生条件。

（5）为有利于企业间的生产协作、上下游产品企业间的衔接，以及提高基础设施、生活服务设施共享的可能性，性质相近的企业应相对集中布置。

(6)产生空气污染、水污染、噪声污染的企业不得布置在城市主导风向的上风向、水源上游地区,并应按规定设置绿化带。

3)城市发展的新空间要素

(1)开发区。

开发区建设是经济空间集聚的重要形式。企业进入开发区的首要原因是企业自身扩大生产规模的需要,所有企业进入园区的原因都含扩大生产规模这一因素;其次是开发区优惠政策的吸引。企业运作需要的便利交通条件也是一个不容忽视的重要因素(金闻多 等,2001)。

(2)高技术园区。

高新技术产业园区是经济开发区的重要组成部分,它是特定类型的技术园区,作为政府的经济发展策略,在一个特定地域内提供各种优越条件,以吸引高科技企业的投资。世界各国的高技术产业在空间布局上基本采取相对集中、产业与高等学校或研究开发机构紧密结合、独立成区的方式。高技术园区同时兼有城市开发区的特点,具有良好的生产环境、适宜的生活环境及完善的基础设施等区位,多选择在城市的郊区,为城市经济增长与社会发展筑起了新的增长极(徐科峰 等,2003)。

§7.3 城市空间生长作用因子量算方法

7.3.1 决定城市空间生长规模的基本指标量算

1. 城市经济发展水平确定

经济发展水平可以用人均GDP来反映,为了与工业化、城市化等指标可比,可用相对人均GDP,即

$$\text{各省区的经济发展水平} = \frac{\text{该省实际人均 GDP}}{\text{各省人均 GDP 最大值}} \times 100\% \tag{7-1}$$

2. 城市化水平及城市人口规模确定

城市化水平及城市人口规模确定包括以下几种方式。

(1)城市化率国际上一般采用城市人口占总人口的百分比描述,我国的城市不仅是聚落形态,更主要的是行政管理单位,因此城市人口统计数字不能真实反映城市化状况,为此,我们用城市非农业人口占总人口的百分比描述。

(2)通过经济发展水平与城市化水平之间的相关关系分析可以确定城市化水平。例如,有研究根据具体数据,通过回归分析得出经济发展水平与城市化之间的量化关系为

$$Y = \frac{83.22}{(1 + 5.110\,11\mathrm{e}^{-0.08})^{82x}} \tag{7-2}$$

该公式能显示出城市化随经济发展而呈生长曲线模式增长，即在经济发展水平很低时，城市化过程很慢，经济发展水平达到一定程度后，城市化过程加快，城市化率达到相当高程度后，其进程又慢了下来，这符合城市化过程一般规律。由全国平均水平来看，经济发展水平每提高 1%，城市化率提高 0.07%。

(3)另一种城市化水平预测模型为城市化水平的 Logistic 模型，联合国在预测世界各国、各地区城镇人口比重时主要采用的就是 Logistic 模型。模型为

$$Z(t) = \frac{1}{1+\lambda e^{-kt}} \tag{7-3}$$

式中

$$\lambda = (\frac{1}{Z_0} - 1)e^{kt_0}$$

这里 Z_0 为 $t = t_0$ 时的初始值即观测的初始值。

3. 城市发展用地规模确定

城市发展用地规模确定方法主要采用以下两种方式。

1)通过城市人口-城区面积关系模型计算城市面积

如城市人口-城区面积异速生长关系模型，可用于城市系统的人-地相关关系分析和城镇化趋势的空间监测。模型为

$$\lg Y = \lg a + b\lg X \tag{7-4}$$

式中，a 为比例系数，b 为标度因子即异速生长系数，X 表示人口规模，Y 表示城区土地面积。

2)国家技术标准对城市用地规模的量化控制

当城市人口确定下来后，城市的发展空间根据国家标准会受到限制，控制指标应符合《城市用地分类与规划建设用地标准》(GBJ 137—90)，见表 7-1。我国是一个人多地少的国家，规划的城市人均用地标准有比较严格的规定，一般为人均 100 m^2 左右，用地紧张的城市人均用地可控制在 80 m^2 以内，少数有特殊要求或用地比较宽裕的地区也不应超过人均 120 m^2。

表 7-1　现有城市的规划人均建设用地指标

现状人均建设用地水平/(m^2/人)	允许采用的规划指标		允许调整幅度/(m^2/人)
	指标级别	规划人均建设用地指标/(m^2/人)	
≤60.0	Ⅰ	60.1～75.0	+0.1～+25.0
60.1～75.0	Ⅰ	60.1～75.0	>0
	Ⅱ	75.1～90.0	+0.1～+20.0
75.1～90.0	Ⅱ	75.1～90.0	不限
	Ⅲ	90.1～105.0	+0.1～15.0

续表

现状人均建设用地水平/(m²/人)	允许采用的规划指标		允许调整幅度/(m²/人)
	指标级别	规划人均建设用地指标/(m²/人)	
90.1～105.0	Ⅱ	75.1～90.0	−15.0～0
	Ⅲ	90.1～105.0	不限
	Ⅳ	105.1～120.0	+0.1～15.0
105.1～120.0	Ⅲ	90.1～105.0	−20.0～0
	Ⅳ	105.1～120.0	不限
＞120.0	Ⅲ	90.1～105.0	＜0
	Ⅳ	105.1～120.0	＜0

7.3.2　空间生长作用力分析

城市空间格局是个体空间行为在一定的运行过程中形成的。个体空间行为是人本身的社会经济生理特征(如需求、价值、感情、预感)与特定行为环境可感知的外部因子相互作用产生的,这些外部因子都依附于某一空间系统,人类个体通过价值系统对环境形成映象,而后作出空间定位决策。在城市建设用地的选择上,无论是从市场经济学的角度考虑各类城市用地的空间定位,还是从城市用地生态和社会等需求上考虑各类城市用地的空间定位,影响城市空间生长行为的各种因素,都可以总结为力的作用。城市总是起源于同外面世界接触最方便的点,即它们沿着最小阻力或最大吸引力的方向增长。这种城市发展的引力和阻力是由各种要素共同作用形成的。只不过,不同环境下,有些空间生长影响因素产生的空间作用力大,有些空间生长影响因素产生的空间作用力小(如图 7-4 所示)。

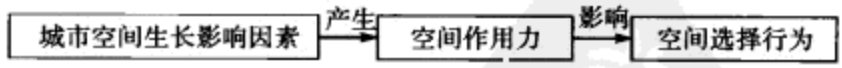


图 7-4　城市空间生长影响因素与城市空间作用力

根据物理学中力的作用原理,在每一个城市建设用地的选择上,把城市空间生长影响因素形成的作用力分为城市空间生长引力、城市空间生长阻力、城市生长摩擦力。城市生长的最后结果取决于作用于所有空间选择行为上的各种作用力和的大小。其中,生长引力是对城市建设有利的因素,是拉动城市用地建设的力量,而生长阻力是对城市建设不利的因素,是城市用地建设的障碍,它们都是由外部环境形成的;生长摩擦力是用地自身条件及用地建设规模和建设标准共同作用产生的,当用地条件差而建设规模大或建设标准高时,其摩擦力将增大,反之,摩擦力减小。摩擦力和阻力的区别就在于,阻力是由外部因素产生,而摩擦力则是自身建设需求

产生，可以通过加大投入克服。生长重力在此类似于城市用地建设门槛（如图 7-5 所示）。

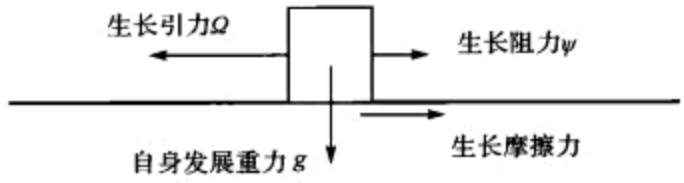


图 7-5　城市空间作用力表现

1. 空间生长引力

空间生长引力表示该用地被选择并进行城市建设的可能性大小。它表现在城市用地所处区位对建设用地经济效益需求、生态效益需求和社会需求的满足程度上。在所有具备一定条件的用地中，具有最大吸引力的用地往往最先被选中，城市用地发展引力体现在以下几个方面。

1）向心力

某些城市要素将对其周围一定范围内地块产生发展的向心力，使其周围用地被选择建设的机会增大，向心力不一定相对所谓的城市中心点，也可相对于交通动脉，还可以相对于定向开发区域。向心力大小是受力源的辐射强度大小决定的，随着与力源距离的增大，用地所受向心力的作用将逐渐减少。产生向心力的力源一般包括：

（1）某一政策倾向会使某一位置领先发展起来，对工业和科技产业具有吸引力，从而带动该处的发展，如开发区。

（2）提供就业点的工业基地。

（3）节省交易费用的城市商业繁华地带。

（4）与外界联系通行阻力最小的交通线路，如港口、对外联系公路、铁路站点等。

2）区域条件引力

区域条件引力是由用地周围环境所提供的城市要素分布条件决定的，条件越好，地块的发展引力就越大，它主要体现在以下几个方面：

（1）交通方便。

（2）环境良好。

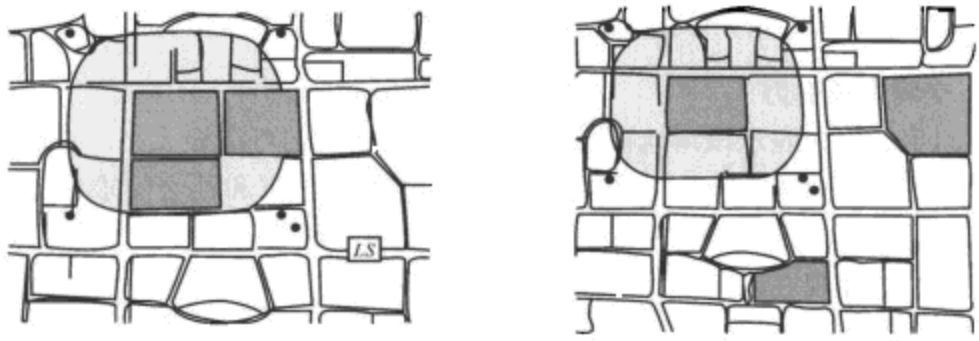
（3）公共设施齐备。

（4）基础设施齐全。

（5）与周围用地具有良好的协调性。

集聚力是区域条件引力的一种，集聚是城市发展的主要动因之一。城市空间要素集中的原因有很多，主要原因包括以追求经济效益为主的集中及由于人类社会交往活动需要而产生的集中，因为集聚能提供定型、定期和更完善的市场机制，

是一种节约交易费用的发展方式，城市中的各种商业服务设施、各种政府指导部门、各种企业公司的总部，以及银行、报社、电视台等脑力劳动机关，都有不断向城市中心集聚的特性，工业发展也是以工业园区的方式集聚更多相互关联企业，以加强合作、降低成本。一般情况下，无论是同类用地集聚、还是异类集聚，根据其周围建设用地或同类用地的多少，都会产生或大或小的集聚力，如图 7-6 所示。图 7-6(a)中的用地发展形式将比图 7-6(b)中的用地发展形式获得更大的经济和社会效益。



(a) 集聚发展　　(b) 分散发展

图 7-6　集聚力表现形式

2. 空间生长阻力

1) 离心力

某些城市要素将对其周围一定范围内地块产生发展的离心力，使其周围用地被选择建设的机会减少。它与向心力相反，离力源距离越近，越不适于用地建设，产生城市空间生长离心力的力源主要为城市内各种污染源。

2) 区域条件阻力

区域条件阻力也是由用地周围环境所提供的城市要素分布条件决定的，但是这种条件分布主要为不利因素的分布，这种要素越多，城市建设用地选择的机会越小。

3. 空间生长摩擦力

城市空间生长摩擦力主要指要达到建设的基本条件所需要跨越的门槛，如地基条件、土地价值等。只要跨越了这个门槛，不利因素就会消除。城市空间生长摩擦力是城市空间生长的一个反作用力，它会阻碍城市用地的选择与建设。摩擦力越小，则城市建设发展的适宜度就越大。

总的来说，空间生长作用力源于影响城市生长行为的各种因素。城市生长具有生态特性，在竞争机制下，城市发展的相关要素在各种尺度上都应遵循通过竞争达到有序分化的原则。空间作用力为这种竞争机制提供支持和表现的机会，它促进城市用地的有机组合，促使城市用地在对其生态位的选择、竞争与占有过程中，选择适合发展的生态位(杨山 等，2003)。空间作用力的大小可以通过空间分析和空间操作获得结果，如图 7-7 所示。

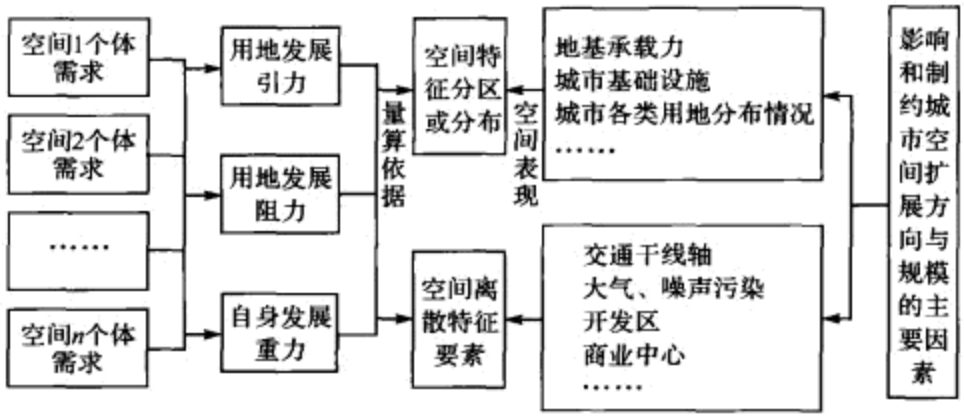


图 7-7　空间作用力与空间要素的关系

7.3.3　空间作用力的量算基础

1. 空间作用力量化基本要求

空间作用力的量化方法要求能为建立研究系统的模型奠定基础，并且模型是可解的，解是有其实际意义的，即能给出系统特性的量化值以明确的解释。具体要求如下。

(1)把定性与定量分析方法统一起来。通过量化过程既可给出定性结果，又可给出定量结果，而且这些不同类型的结果可以用统一的标准方式去描述，同时定量问题还可根据需要简单转化成定性分析问题。

(2)要充分利用人类长期积累的、又经过多次实践证明是正确的经验与知识，或通过大量试验与统计检验是正确的事实，把这些事实作为量化依据，或把它们看成求解模式的初始条件和约束条件(康耀红，1986)。

(3)要利用数学与现代科技成果相结合的新方法论、认识论，如空间数据挖掘方法，并利用计算机技术手段使量化过程形式化、程序化、具体化。

空间作用力量化方法的核心思想是从客观事实出发，通过理论推导，把定性分析方法数学化和逻辑化，把定性定量分析方法统一化、精确化，特别是使那些抽象的、单凭经验和直感进行定性分析的方法变成具有依据性的操作过程。

2. 城市空间生长作用力量算途径

城市空间生长影响因素多种多样，正是这些影响因素决定着城市用地的开发建设力度和强度。但不同城市空间生长影响因素的影响方式各有不同。其影响方式不同，空间量算途径就不同，其量化过程也会不同。在此，主要包括以下几种空间量算途径：

1)通过某一空间范围内影响因素数量多少量算

通过某一影响因素个体数量多少来评判对用地的影响效果，如用地周围的生

活工作方便程度可以通过其周围公共服务设施数量多少来评价，其数据统计方法相对简单。

2)通过至某一影响因素距离远近量算

如污染源对用地发展的影响可以通过距离远近来评判，虽然该过程简单清晰，但其计算要以污染源强弱为前提，即需要以空间对象的某种属性特征为条件确定距离量算的标准，如商业中心需要通过其规模和等级属性来确定其辐射距离的远近。

3)通过某一范围内影响因素的相关属性值量算

通过附着于用地上的等级、类别、密度等指标确定该因素可能产生的影响强度，如附着于空间的坡度、高程、人口密度、容积率等属性值，通过这些属性值的量算，既可以确定地块地形、地价等自身特征，又可以确定其周围的的社会经济环境特征。

当然，最后每一个计算结果都需要代入相应的隶属函数，这同时需要对每一种影响因素的强弱确定一定的标准，并在此基础上设计适宜的隶属函数。总之，在数学模型使用过程中，既需要进行空间操作，也需要基于空间操作上属性数据的定量化和统计，这使得各影响因素后期量化工作要分步进行、分类处理，根据其不同影响方式设计不同的参数导入流程。

3. 作用力空间量算方法

(1)确定向心力源与离心力源，通过距离大小确定引力和阻力值的大小。

(2)通过直接叠加确定地块自身条件值。

(3)通过划定地块周围的某一缓冲区范围，对地块周围区域的静态要素与动态的用地组合要素和用地关系进行分析，获得引力和阻力值。

这几种方法在各种力的量算上根据需要可灵活使用，不同的量算方法都有可能达到同一目的。

4. 合力计算方法

1)矩阵综合评分法

这个方法很常用，即先列出系统评价的因子，从已做好的因子库中调用评价因子，然后确定各因子的权重。

2)概率评价法

概率评价法和矩阵评分法很相似，只是根据其被采用、实施的可能性大小给各因子以概率值。

3)模糊量化

影响土地功能配置合理性的因素十分复杂，因素的定性定量方式也是多种多样，若想获得一个以数学解析式表达的适应度评估函数是异常困难的。因此，模糊性是客观的存在，系统的复杂性越高，对它的精确化能力就越低。模糊数学方法主要用隶属函数确定的隶属度描述不精确的属性数据，重在处理不精确的概率。通

过隶属函数获取的模糊集可用于模糊评判、模糊决策、模糊模式识别、模糊聚类分析、合成证据和计算置信度等操作。

量化方法对结果的准确程度具有重要影响，对影响因子的量化，即是对影响因素在空间映象上的信息总结、归纳与分析，是一个重要研究方向。因为很多信息都需要我们能准确地提取出来。有些因素很难确定，如各类用地之间的各种关系，这还有待于将来的深入研究。在此，本书借用当前已经比较成熟的方法对各种因子进行量化和计算，通过层次分析法结合模糊综合评价法来评价染色体的适应值，它在一定程度上能够较准确地反映因子的作用大小。

5. 城市空间生长量算的数学模型选择

城市空间生长影响因素是城市空间生长量算的重要基础，进行其作用强度的量算也是为了实现相应的城市空间生长数学模型构建，进而得出基于这些影响因素的城市空间生长方案，城市空间生长模型的设计相对比较复杂，但也可以根据研究目标简单化或细化。本书选择以下两种类型的数学模型，它们体现了城市空间生长的不同特征。

1）层次分析数学模型

城市用地发展方向的量化计算最常选用的方法是层次分析法，这种方法是基于多因素下的数学评价方法，在城市空间生长中，这种方法反映了城市发展的静态特征，它基于城市发展的某一断面，体现了影响城市空间生长的静态影响要素，这些影响因素对于用地的选择具有先导性，即事先确定了城市用地的优势空间，所以只要设定相应的权重并进行影响力的加权求和即可。

2）寻优数学模型

由于城市未来发展方案是多块用地组合构成，则有些城市用地建设当前未发生但将来有可能发生，并影响着未来城市空间发展走向和空间形态。即在用地类别的设定或规划中，当某一个体用地类型发生变化时，会形成不同的用地生长环境，从而影响下一个城市用地的生长，其本质是城市未来发展受其空间发展协调性影响。这类影响因素不是一开始就表现出用地发展的优势空间，而是在变化中、自发寻找空间的优势互补，从而确定城市发展的最佳位置，这种协调性的量算需要通过数学寻优手段帮助找到满意的解。

6. 空间作用力的量化过程

空间作用力的量化是模型实现的重要基础。空间作用力的量化过程主要是通过影响因子的量化和空间量算实现，它的结果将应用于数学模型。可操作性是对该系统量化过程的要求。空间作用力的量算首先要明确其量化的具体步骤，这些步骤都可用形式化方法把它具体地描述出来。由于空间属性指标值标准、单位并不完全一致，量算结果还需进行一定处理，使其结果具有可应用性。本书主要使用模糊数学方法，获取 0、1 之间的比例值结果，其量化过程如图 7-8 所示。

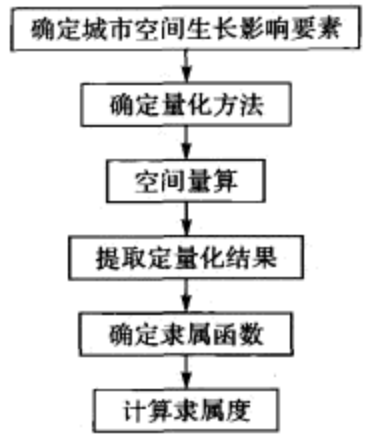


图 7-8 空间作用力的量化过程

7.3.4 空间作用力量算

1. 空间生长引力量算

1)向心力计算

假设在地形开阔、城市扩展范围不受限制,交通不发达的地区,城市扩建的地理场效应基本上是遵循杜能区位模式,即以市区为圆心,呈同心圆模式向外辐射,直到城市吸引效益为零时的距离为辐射半径(图 7-9 中的 R_1、R_2)。同样,产生向心力的城市要素,其作用力也具有沿着辐射线递减的特性,计算时依据居住、工业等不同城市要素,其辐射半径会有所差异。在此,向心力具体计算过程如下。



图 7-9 向心力量算

(1)设定产生向心力的城市要素的影响范围或辐射范围 D。

(2)针对城市用地单元进行距离量算,即

$$F_i=\sqrt{(x_i-x_o)^2+(y_i-y_o)^2} \tag{7-5}$$

式中,F_i 在这里表示缓冲区内第 i 个建设用地单元与向心力源之间的距离;P_o 为产生向心力的力源点;P_i 为缓冲区范围内不同地块的中心点(如图 7-9 中的 $P_1 \sim P_4$ 所示)。

(3)计算隶属函数。向心力大小可通过向心力隶属函数来体现,通过隶属函数

的设定和计算可获得用地受向心引力作用强度的差异，并据此进行定量比较。在此，向心引力的隶属函数设定为

$$f_i = 1 - \frac{F_i}{D} \tag{7-6}$$

也可通过设定不同类用地的权值计算不同类用地向心力的大小，如

$$\begin{cases} f^i_{工业} = f_i \times p_{工业} \\ f^i_{居住} = f_i \times p_{居住} \end{cases} \tag{7-7}$$

2）空间积聚力量算

对于同一地块，其周围用地是否为城市建设用地，将直接影响到该用地的集聚效应，量化表示为空间集聚密度。它可通过用地缓冲区与用地基础层本身叠加，并计算缓冲区内城市建设用地面积占缓冲区总用地面积的比例获取。集聚力大小的特点是：它是动态变化的，地块周围区域内的建设用地密度大小会根据基因染色体的不同而不同。

3）区域条件引力计算

城市供水、排水、供暖、供气、供电等基础设施，文化教育设施，医疗卫生、文娱体育、邮电、公园绿地等社会服务设施，现状道路密度、规划道路密度及其周围的用地情况都可以作为区域条件引力的计算因子，其计算过程如下。

（1）对因子层需要量算的属性信息进行定量处理，如把地质层上的地质分类信息转换成等级值等。

（2）基准层上不同用地类别，按其对周围用地条件的需求强度划定相应缓冲区范围。

（3）把划定的缓冲区与因子层叠加（因子层要素可以为面状、线状或点状要素）或与基准层自己叠加（如图 7-10 所示）。

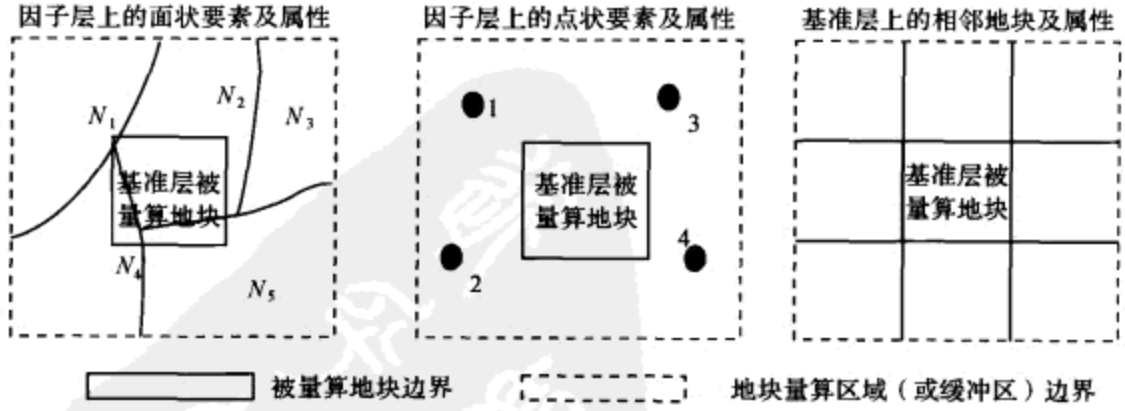


图 7-10　区域条件引力量算

（4）量算因子层属性值，即对缓冲区范围内因子层上的属性信息进行量算和统计。针对点、线、面三种空间类型要素，可采用相对应的不同方法进行量算。

如果为点状要素，则可统计其缓冲区内点状要素的数量 N。在此，以 F_i 表示第 i 个用地单元的因子层属性信息量算结果，即

$$F_i = N \tag{7-8}$$

如果为线状要素，则量算该地块缓冲区内的线状要素面积 S_u 或长度 L，即

$$F_i = S_u \text{ 或 } F_i = L \tag{7-9}$$

如果为面状要素，则第 i 个用地单元的因子层属性信息量算结果为

$$F_i = \frac{\sum_{j=1}^{m} N_j \times p_j}{m} \tag{7-10}$$

其中，N_j 为因子层上的不同地块的属性值，如人口密度、建筑密度等；p_j 为该地块属性值的比例值，即该属性值在缓冲区范围内所占比重，可通过具有该属性值的地块面积与缓冲区面积的比值获取；m 为要统计地块内具有不同属性值的地块数。

(5)确定隶属函数并计算隶属度，同样，通过区域条件引力隶属函数的设定和计算可获得用地受区域条件引力作用强度的大小和差异，并据此进行定量比较。

对于点状要素，其隶属函数可表示为

$$f_i = \frac{F_i}{C} \tag{7-11}$$

其中，C 为某一常数，可以是服务设施数量的最优值等。

对于线状要素，其隶属函数可表示为

$$f_i = \frac{F_i}{S_i} \tag{7-12}$$

其中，S_i 为地块缓冲区面积。

对于面状要素，其隶属函数可表示为

$$f_i = \frac{N_{max} - F_i}{N_{max} - N_{min}} \tag{7-13}$$

其中，N_{max}、N_{min} 分别表示该因子层上被量算属性值的最大值和最小值。

2. 空间生长摩擦力量算

空间摩擦力的计算主要体现在对用地本身建设条件的量算上，因此不需要做缓冲区，只需要从因子库中调出地基承载力、地形坡度等因子层，与基准地块图层叠加，直接计算该地块内属性值(如图 7-11 所示)，因此，其计算过程与面状的区域条件引力计算相似。

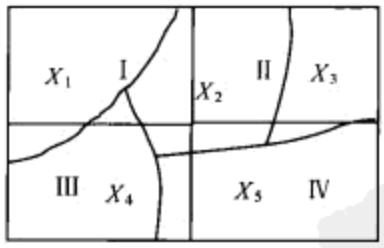


图 7-11　摩擦力量算

首先，计算该地块内对应的基础条件属性值 F_i，即

$$F_i = \frac{\sum_{j=1}^{m} X_j \times p_j}{m} \tag{7-14}$$

其中，X_j 为因子层上的不同地块的属性值，如地基承载力、地面高度等；p_j 为该地块属性值的比例值，即该属性值在被量算地块内所占比重，可通过具有该属性值的地块面积与被量算地块面积的比值获取；m 为要统计地块内具有不同属性值的地块数。

然后其隶属函数可设定为

$$f_i = \frac{X_{max} - F_i}{X_{max} - X_{min}} \tag{7-15}$$

式中，X_{max}、X_{min}分别表示该因子层上被量算属性值的最大值和最小值。

3. 空间生长阻力量算

1）离心力量算

显而易见，对于某一产生离心力的空间要素，在一定范围内，离其距离越远的区域对于某一类型用户越具有吸引力，该用地具有更强的被选择趋势。即距离 D_2 的区域比 D_1 的区域具有更大的吸引力，或半径 R_1 所形成的 B 区域比半径 R_2 所形成的 A 区域具有更大的吸引力（如图 7-12 所示）。离心力量算方式与向心力量算方法相近，可参照向心力量算方法进行量算。

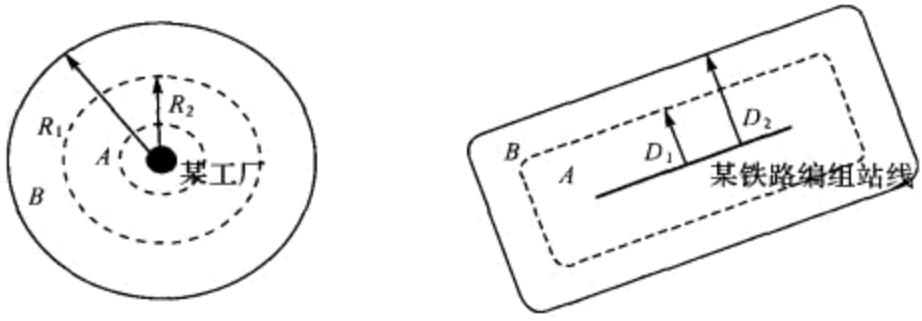


图 7-12　离心力量算

2）区域条件阻力计算

区域条件阻力量算方法与区域条件引力的量算方法相近，可参照区域条件引力的量算方法进行量算。

7.3.5　用地协调发展指数量算

1. 对不同类别用地的空间比例需求量算

国家根据多年建设经验提供了规划建设用地结构指标标准及规划人均单项建设用地指标，见表 6-3。根据该表，可确定主要类别用地面积占总用地面积比例大小的适宜性，并可依据此计算出各类用地所占比例适宜性的隶属函数。例如，对居住用地，首先设

$$p = \frac{\text{居住用地面积}}{\text{总用地面积}} \tag{7-16}$$

则其适宜性的隶属函数可表现为

$$f=\begin{cases}1, & \text{若 } 0.2<p<0.32\\ \dfrac{1-(p-0.32)}{1-0.32}, & \text{若 } 0.32\leqslant p\leqslant 1\\ \dfrac{1-(0.2-p)}{0.2}, & \text{若 } 0<p<0.2\end{cases} \tag{7-17}$$

其他几类主要用地所占比例适宜性的隶属函数设定方法与居住用地相同。

2. 用地组合优化值

用地相邻关系指数，是保证用地之间组合效益最优的量化指标之一。对于任意两块相邻用地，可以通过相邻适宜度表明两相邻地块之间的协调性。如对于以下各类用地：居住用地(R)、商业用地(C)、工业用地(I)、公园(P)、学校(S)、医院(H)、污水处理厂(W)和娱乐用地(E)，有关研究确定其相邻适宜度见表7-2(姜友华 等，2002)。也可利用计算其缓冲区内的同类或异类地块面积比率，计算用地之间的协调性，即

$$F^C=\frac{\sum_{i=1}^{m}A_i^C}{A_{总}} \tag{7-18}$$

式中，C代表用地类别，如工业用地或居住用地；$A_{总}$是所划定的缓冲区的用地总面积；F^C表示某块用地为C类用地时，其缓冲区内的C类用地面积占总面积的比率。

表7-2 不同用地类型间的空间协调指数

用地类型 / 相邻适宜度 / 用地类型	R	C	I	P	S	H	W	E
R	1.5	0.4	0.4	0.9	0.9	1.0	1.0	0.4
C		1.5	0.2	0.4	0.5	0.8	0.5	1.0
I			1.5	0.5	0.4	0.5	0.8	0.2
P				1.5	0.8	0.4	0.3	0.4
S					1.5	0.9	1.0	0.5
H						1.5	0.3	0.8
W							1.5	0.5
E								1.5

§7.4 城市空间生长建模机制

7.4.1 城市用地组合的空间关系反映

1. 用地之间的相吸和相斥可通过空间拓扑关系反映

拓扑关系是描述城市用地空间关系的最基本内容，城市中的任何两个用地之

间，都表现为一定的拓扑关系，通过拓扑关系，反映出两个不同性质用地之间的分离、包含与被包含、相切、相等、覆盖与被覆盖和相交关系，在城市空间生长过程中，拓扑关系则反映出不同性质用地之间的相互吸引或相互排斥。

2. 用地之间吸引和排斥程度可通过空间距离关系确定

面状实体之间的距离关系可以在拓扑关系的基础上对用地空间关系做进一步的描述，距离关系反映出了用地之间的潜在联系，不同类别或同类用地之间的影响强度也可通过距离进行进一步的确认，因此，距离关系为城市空间生长的进一步量化操作提供支持。

3. 用地发展中的方向约束可通过空间方向关系表达

方向关系通过一个四向限来表达，概括为 9 种方向关系：北、东、南、西、东北、西北、东南、西南、任意方向。由于城市用地使用在一定条件下受方向限制，因此在城市空间生长过程中，方向关系也能表现出用地选择的适宜性，方向关系可以在拓扑关系和距离关系基础上对面状实体之间的空间关系做更明确的描述。

7.4.2　基于城市用地空间关系的用地组合特征

城市规划任务的核心是城市土地资源的空间配置，为了更清晰地表达城市空间结构，反映城市内的社会、经济等要素的空间分布，规划学者把城市用地分为 10 大类、46 中类、73 小类。按照这种分类方式划定城市用地，则城市用地单元之间空间关系蕴含了城市中各种社会经济职能之间的联系。即当具有一定社会经济职能的两用地在使用上具有一定关联时，其空间关系也必然有一定要求，反之，两块同类或异类用地之间保持一定的空间关系，也往往是用地之间的社会经济职能相互关联所致。因此，城市用地之间的社会经济职能联系与它们之间的空间关系具有关联性。城市规划就是通过研究同类或不同类用地之间的空间关系，进行城市用地空间布局。

由于城市用地之间的社会经济职能联系与它们之间的空间关系具有关联性，在城市规划中，对城市同类或异类用地之间的空间关系就会有一定的要求，而一旦这种关系没有满足或满足度不够，城市内某一职能或某一局部的职能就不会得到很好的发挥，往往这种用地使用或用地组合就不是一种良好的城市空间发展形态。因此，从空间分布的角度，城市空间生长优劣能够通过用地空间关系的合理与否来体现，难点在于如何全面、完整、科学地解读各类用地之间的空间关系。

实际上，很多城市用地之间的空间关系要求是模糊的、定性的或有条件的，但可以简化或理想化地反映在拓扑、距离和方向关系中，这就使城市用地可能形成很多不同的组合方式，而且这些组合方式，都可能达到城市空间发展的满意结果，这在 4.5.3 中已有论述。城市空间发展没有终极发展目标，它的发展结果是不确定的。这是因为城市在发展过程中，不仅在用地选择上是多目标的，而且还可能发生

自然、经济、社会等多种突发或者说不能确定的变化，这些变化将使得城市原有的用地发展计划发生改变，它可能首先影响到城市的某一个体或某几个个体，然后影响到其后的一系列个体发展，这一点和空间关系衡量下用地优化组合特征结合在一起，使得城市在动态变化中可以选择任意一个合理的空间发展方向，使得城市空间生长不可能具有非常确定的唯一结果。

7.4.3 城市空间生长建模思路

由于城市空间的动态发展和城市空间生长结果的不确定性，使得城市用地规划方案也具有多样性和动态性，需要我们能动态地跟踪城市的发展变化。因此，建立一个基于空间关系的评判系统及相对应的寻优模型就很有必要，以便能随时根据实际变化寻找新的规划方案或对原规划方案做出客观的评价。在此，基于前面所述城市用地的生长过程及空间关系的优化组合特征，城市空间生长的寻优过程可以简单地表述为以下几个步骤：

(1)设定 N 种(可能为极大值)城市用地发展方案。

(2)衡量城市用地发展方案中的个体需求满足度，对其中所涉及的社会、经济及生态等影响因素映射后所反映出的空间关系进行评判及量化操作。

(3)衡量城市用地发展方案中的城市用地整体协调度，对用于体现其整体协调关系所涉及的同类或不同类用地间的空间关系进行评判及量化操作。

(4)代入相关模型，比较计算结果，其中达到满意程度的方案，都可以作为备选方案。

由于用地构成数量较多，城市空间生长的用地组合将是一个极大值，常规的计算方法很难操作。因此，可采用遗传算法帮助完成模型构建。

7.4.4 城市空间生长模型实现过程

由于城市空间生长影响因素具有不同的空间特征及对城市用地生长的不同影响方式，在此提出城市空间影响因素的空间量算思路。在该过程中，利用 GIS 支持完成从数据建库、数据分析操作到数据输出的过程，同时，不同的城市空间生长影响因素，由于其空间特征不同，涉及的具体操作过程和使用的 GIS 功能有所不同，也需要给予相应的设计(如图 7-13 所示)。

1. 空间数据准备

主要是数据库的建立和维护过程，主要包括如下几个方面。

(1)数据分类和空间映射：对那些可以或不能直接获得空间定位的影响因素进行数据输入前的数据准备工作。

(2)空间和属性数据输入：完成影响因素的空间和属性数据输入。

(3)数据更新维护：对已入库的影响因素数据进行必要的更新和维护。

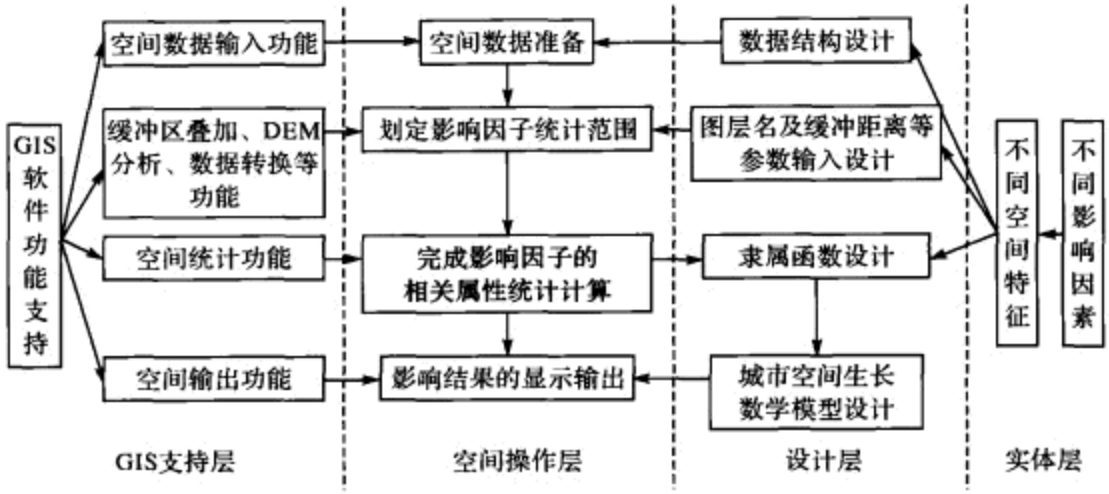


图 7-13　基于 GIS 的城市空间生长量算过程

2. 基于 GIS 的空间数据操作准备

为完成影响因子作用强度的统计量算所做的所有前期准备工作，主要包括如下几个方面。

(1)DEM 制作、矢量或栅格化操作等。

(2)对影响因子层的空间对象进行缓冲区操作。

(3)缓冲区操作结果与用地基准层进行叠加操作。

(4)其他相关操作。

3. 影响因子量算

(1)对定性表达的影响因子进行定量化操作。

(2)在上述空间操作基础上，对已定量化的影响因子进行社会经济等属性值量算。

(3)在上述缓冲区等空间操作基础上，对一定范围内的影响因子进行数量统计。

(4)对地块和某些影响因子之间的距离进行量算。

(5)把影响因子的量算结果代入相应的隶属函数，进行数据标准化处理。

4. 建立模型并计算

把影响因子的量算结果代入相应的城市空间生长数学模型，如层次分析数学模型或遗传算法等寻优模型，进行计算。

5. 结果显示

指进行影响结果表达及显示输出，基于 GIS 的量算结果可视化表现。

第 8 章　UG-GA 模型算法设计

遗传算法是一种仿生算法，它通过数学方法模拟人类自然演化过程。按照适者生存和优胜劣汰的原理，衡量给定编码的染色体的适应值能力大小，并使适应值好的染色体比那些适应值差的染色体有更多的繁殖机会。遗传算法的运作是从一个初始种群开始，通过两个父代染色体的结合与重组产生全新的染色体，通过变异可以使子代染色体不同于父代染色体，从而产生出代表新的解集的种群。自然选择不断重复执行选择、杂交和变异的过程，这个过程将导致种群像自然进化一样，后生代种群比前代更加适应环境。对于遗传算法的应用，不同的领域或专业区别于编码及适应值计算方式的不同，而在算子的选择上，都是建立在已有算子的基础上，以简单实用为主。城市空间生长中的遗传算法操作在代码选择、种群设定、适应值计算等方面也有其特有的特征，同时遵循遗传算法的运算法则和受到遗传算法自身发展的限制。

§8.1　UG-GA 模型代码方式选择及初始种群设定

8.1.1　代码方式选择

要想明确代码选择方式，首先应明确遗传算法中与代码有关的概念。其中，染色体的概念是最基本的概念。在生物学中，染色体是生物细胞中的一种微小的丝状化合物，它是遗传物质的主要载体，包含多个遗传因子。遗传因子是 DNA 或 RNA 长链结构中占有一定位置的基本遗传单位，也称为基因。物体的基因数量根据物种的不同而多少不一，小的病毒只含有几个基因，而高等动、植物的基因却数以万计。基因位指某遗传基因在染色体中所占据的位置，同一基因位可能有的全部基因称为等位基因。基因组合决定了个体形状的外部表现，遗传因子组合的模型叫遗传子型，它是染色体的内部表现，又称基因型，而表现型是指生物体的基因型在特定环境下的表现特性。在遗传算法中，我们需要以序列形式把遗传信息译成编码(encoding)，编码可以看做从表现型到遗传子型的映射，最终必然要解码(decoding)，即从遗传子型到表现型的映射。

按照遗传算法的工作流程，当用遗传算法求解问题时，必须在目标问题实际表示与遗传算法的染色体位串结构之间建立联系，即确定编码和解码运算，完成由问题空间向遗传算法编码空间映射的编码工作，以及由编码空间向问题空间映射的译码工作。遗传算子在遗传算法编码空间中对位串个体进行操作，遗传算法中进

化过程是建立在编码机制基础上的。现有多种编码方法，由于遗传算法计算过程的鲁棒性，它对编码的要求并不苛刻。对特定的优化问题，如何确定合适的编码，具有丰富经验的美国学者戴维斯(L. Davis)等所极力主张采用的编码对问题来讲应该是最自然的，并可以据此设计能够处理该编码的遗传算子。

1. 编码类型及 UG-GA 的编码方式选择

1)一维染色体编码

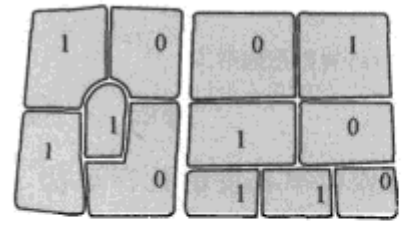
一维染色体编码是指搜索空间的参数转换到遗传空间后，其相应的基因呈一维排列构成染色体，实际上，大多数问题都可以采用基因呈一维排列的定长染色体表现形式。一维染色体编码方式包括很多种，包括二进制编码、序列编码、实数编码、大字符编码等。其中，二进制编码应用最广泛，如可用于多参数优化问题，即把每个参数先进行二进制编码得到子串，再把这些子串连成一个完整的染色体；序列编码在求解旅行商问题(traveling salesman problem，TSP)问题时更为自然、合理；实数编码对于多维、高精度要求的连续函数优化，相比二进制编码能保持更好的种群多样性，便于大空间搜索。在 UG-GA 模型中，一维染色体编码中的二进制及大字符编码方式也是两种贴切、实用的编码方式。

(1)二进制编码。

霍兰德提出的二进制编码是基于{0,1}符号集来表现个体遗传基因型的，因为二进制编码形式具有简单易行，编码、解码操作简单，交叉、变异等遗传操作便于实现，便于用模式定理分析等优点，所以应用广泛。二进制编码方式是 UG-GA 模型选择的编码方式之一。在二进制编码方式下，可以从城市的两种状态去认识城市空间生长，即分析城市空间的建设与非建设状态及城市周围用地从非建设状态转换为建设状态的过程，这种分析表现为单纯的两种状态的转换，因此可以用二进制编码方式表示，即编码 1 表示选择为建设的用地，编码 0 表示选择为不建设的用地。这种只表现出建设与非建设两种用地状态的二进制编码方式，简化了城市空间要素构成，也简化了城市空间生长分析方法，便于算法的实现和操作，其编码形式如图 8-1 所示。因此，对于某一区域内用地，按组合算法及地块数量 n 可形成 2^n 种土地利用发展方式。

0	1	0	1	1
0	1	0	1	1
1	0	0	1	1
0	1	1	0	1
1	0	1	1	0

(a) 规则用地形式



(b) 不规则用地形式

图 8-1　0-1 用地代码方式

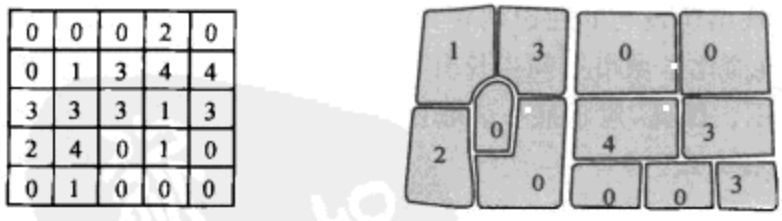
但二进制编码方式也有一些缺点，例如，不便于反映所求问题的特定知识，具有一定的映射误差，特别是它不能直接反映出所求问题的本身结构特征。为了更深入地分析城市用地的生长状态，代码最好能够反映出城市增长过程中不同类别用地发展变化情况，而二进制编码在表现多类别用地上具有一定难度，因此，在多用地类别表现上需要考虑其他更适合的编码方式。

(2)大字符集编码。

大字符集编码可以结合实际问题采用不同进制数或字符集来表示长度为 L 的个体。在 UG-GA 模型中为了明确表示不同类别用地的发展状况，就可以选择大字符集编码中的十进制编码方式(席一凡 等，2001)。这种编码方式表现自然，容易理解，可以弥补二进制编码难以贴切表现城市用地构成的不足，因此可以作为 UG-GA 模型中的一种用地编码方式。在此，根据需要首先选定城市中的 M 种不同地类，如居住用地、工业用地、商业用地、绿地等，再分别对应整数 $0,1,2,\cdots,m$ 作为基因。其中，用 0 表示未建设用地基因位，其他十进制数表示已建设的不同用地类别基因位，这需要对所提供的规划地块图按顺序用自然数进行编号。在计算过程中，各地块及面积保持不变，将各种用途的城市用地随机对应到每个不同地块上即可得到一个染色体，由编码确定的每一种用地组合方式即每一个染色体对应一个城市用地生长配置方案(如图 8-2 所示)，如：

地块编号	1	2	3	4	5	6	7	……	n
土地用途编号	1	3	5	7	6	6	0	……	2

则对于某一区域内用地，按组合算法及地块数量 n 可形成 m^n 种土地利用发展方式。可见，大字符集编码方式增加了算法的复杂度，尤其是地类越多，考虑的因素越多，其计算越复杂，并且要在编码前做更多的准备工作，所以根据需要抓住问题的主要矛盾才是用地编码确定的上策。



(a) 规则用地形式　　(b) 不规则用地形式

图 8-2　十进制用地代码方式

个体长度或位串长度的选择取决于城市用地生长模拟所要求的精度，要求的精度越高，地块划分得越细，则位串越长，也就需要更多的计算时间。因此，在可容忍的运算效率下，尽可能地提高地块的分辨率，从而提高最后结果的精度。

2)二维染色体编码

如果采用栅格数据形式,问题的解呈二维表示,再采用一维染色体编码就很不方便,尤其是交叉操作很不直观,则可采用二维染色体编码。二维染色体编码一般用于图像处理中。

3)自适应变长编码方式

编码对遗传算法的搜索效果和效率有重要影响,有些复杂的编码方式可能对城市空间生长分析更有效,但往往它们都处于探索和研究阶段,随着其理论的成熟,将成为今后编码选择的方向。例如,可变染色体长度编码、自适应编码和树编码等是一种非定长或非固定编码模式,其染色体长度可变,表示空间开放,在运行过程中其编码可以自行调整或在搜索过程中可以自由地增长(生长),允许过剩指定和缺省指定,这与生物进化过程中染色体的长度不是固定不变的及越是高等生物其染色体越长更相符;还有一种更高层次的编码是二倍体和显性规律编码方式,自然界中复杂生物体的进化,大多是基于双倍体遗传。这些编码方式比{0,1}或大字符编码方式更符合自然进化的实际情况,但是需要更多的理论和技术支持。

2. UG-GA 编码特性分析

编码的策略或方法对于遗传算子,尤其是对交叉和变异算子的功能和设计有一定影响。编码应适合要解决的问题,而不是简单地描述问题。因此,问题编码一般应满足以下三个原则。

(1)完备性(completeness):问题空间中的所有点(可行解)都能成为遗传算法编码空间中的点(染色体位串)的表现型。

(2)健全性(soundness):遗传算法编码空间中的染色体位串必须对应问题空间中的某一潜在解。

(3)非冗余性(non-redundancy):染色体和潜在解必须一一对应。

在 UG-GA 模型中,二进制和十进制编码的基因型结构简单、容易理解和操作;若增加一种表现型,对算法的运行不会产生实质性影响,具有良好的可扩展性;对于城市空间生长问题的解决,能使分布在所有问题域的解被构造出来,一定范围内的所有空间生长模式被表现出来,同时每个基因编码对应一个可接受的个体,系统不会产生无效的个体,也不会出现多个基因型解码呈一个表现型的情况或若干相同的基因型被解码成不同的表现型的情况,即基因型和表现型多重性。因此,二进制和十进制编码方式对于 UG-GA 模型,能够满足问题编码的完备性、健全性和非冗余性要求。

8.1.2　UG-GA 模型初始群体设定

在遗传算法处理流程中,个体是指染色体带有特征的实体。根据染色体编码,可以得到若干不同表现特征的个体,构成个体空间,对于{0,1}编码方式,有长度为 L 的

0和1字符串为个体，则L称为个体的链长，L-个体的全体称为个体空间，记作

$$\boldsymbol{S}=\{0,1\}^{L}$$

种群是染色体带有特征的个体的集合，该集合内个体数称为群体的大小或种群规模，所谓N-种群是N个个体组成的集合(个体允许重复)，而

$$\boldsymbol{S}^{N}=\{\boldsymbol{X}=(\boldsymbol{X}_1,\boldsymbol{X}_2,\cdots,\boldsymbol{X}_N),|\boldsymbol{X}_i\in\boldsymbol{S},i\leqslant N\}$$

构成种群空间。

继编码设计后的任务是初始群体的设定。遗传算法是从代表问题可能有潜在解集的一个种群开始的，群体规模的确定受遗传操作中选择操作的影响，初始种群规模作为遗传算法的控制参数之一，它和交叉概率、变异概率等参数一样，对于遗传算法的效能发挥是有影响的。模式定理告诉我们，若群体规模为M，则遗传操作可从这M个个体中生成和检测M^3个模式，并在此基础上不断形成和优化积木块，直到找到最优解。显然群体规模太小会使遗传算法的搜索空间范围有限，搜索有可能停止在未成熟阶段，而大群体含有较多模式，为遗传算法提供了足够的模式采样容量，从而改进遗传算法的搜索质量，防止未成熟收敛，所以要避免未成熟收敛现象，必须保持群体的多样性，即群体规模不能太小，一般情况下专家建议$n=20\sim200$，但也不能太大，大群体规模增加了个体适应性评价的计算量，会使收敛速度降低，还有可能使少量适应度很高的个体被选择下来，大多数个体被淘汰，影响配对库的形成和交叉操作。在UG-GA模型中，由于染色体长度是根据地块划定情况确定的，其群体规模也不是唯一确定的。而对于初始群体中的个体选择，可采取以下几种方式生成。

(1)可随机生成r组染色体。每组染色体代表了一个土地功能配置规划方案。

(2)根据问题固有知识，首先，设法把握最优解所占空间在整个问题空间中的分布范围；然后，在此分布范围内设定初始群体，即把可以预计的较好方案找出，并在此基础上执行运算。

(3)先随机生成一定数目的个体，然后从中挑出最好的个体加到初始群体中。这种过程不断迭代，直到初始群体中个体数达到了预先确定的规模。

初始种群产生后，遗传操作将对初始种群中的众多个体同时进行操作，并以此为起点一代代进化，直到按某种进化停止准则终止进化过程，由此得到最后一代。

§8.2 UG-GA模型适应度函数确定

在研究自然界中生物的遗传和进化现象时，生物学家使用适应度这个术语来度量某个物种对于生存环境的适应程度。对生存环境适应度较高的物种将获得更多的繁殖机会，而对生存环境适应程度较低的物种，其繁殖机会就会相对较少，甚至逐渐灭绝。为了执行适者生存的原则，必须对个体位串的适应性进行评价，适应

值是某一个体对于环境的适应程度，或者在环境压力下的生存能力，适应值函数是个体空间 S 到正实数空间的映射，即

$$f:\boldsymbol{S}\rightarrow\mathbf{R}^{+}$$

其中，f 为适应值函数。一般来说，好的染色体位串结构具有比较高的适应函数值，即可以获得较高的评价；反之，则评价较低，生存能力较差。

8.2.1　适应度函数及其设计

根据实际问题的含义，适应值可以是销售收入、利润、市场占有率、商品流通量或机器可靠性等。一般来说，参数集及适应函数是与实际问题密切相关的，往往由用户斟酌确定。由于遗传算法在进化搜索中基本上不用外部信息，仅用目标函数即适应度函数为依据，适应值就是群体中个体生存机会选择的唯一确定性指标，所以适应函数的形式直接决定着群体的进化行为。在遗传算法中，目标函数不受连续可微的约束且定义域可以为任意集合，对目标函数的唯一要求是，为了能够直接将适应函数与群体中的个体优劣度量相联系，在遗传算法中适应值规定为非负，并且在任何情况下总是希望越大越好。

在 UG-GA 模型中，每种影响因素对于用地的作用值都可按一定方式计算出来，适应度函数将在此基础上获取，其计算可从以下三个层次理解。

(1)计算第 j 个地块的单个影响因素量化值，通过量化基础和隶属函数计算，获取第 i 个因素量化值 Q_j^i。

(2)第 j 个地块涉及 m 个影响要素，对其每个要素可设权重 p_j^i，再对每个地块的所有影响因素量化值求和，得到每个地块的选择指数 S_j，即

$$S_j=\sum_{i=1}^{m}Q_j^i p_j^i \tag{8-1}$$

(3)对所有用地的 n 个地块的选择指数 S_j 求和，即

$$S=\frac{\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}Q_j^i p_j^i}{N} \tag{8-2}$$

其中，N 为建设用地地块数，未选择为建设用地的地块要素作用值设为 0。

在以上基础上，建立适应函数 $f(X)$ 和目标函数 $S(X)$ 的映射关系，保证映射后的适应值是非负的，而且目标函数的优化方向应对应于适应值增大方向，即

$$f(X)=\begin{cases}S(X)-C_{\min}, & \text{若 } S(X)>C_{\min}\\ 0, & \text{其他}\end{cases} \tag{8-3}$$

其中，$C_{\min}$ 可以是一个输入值或是理论上的最小值。

在此，本模型的适应度函数具有以下特征：

(1)保证了适应函数结果的单值、非负、最大化。

(2)函数的计算过程合理,根据适应函数计算结果大小,能反映出对应方案的优劣程度。

(3)模型适应度函数设计相对比较简单,这样可以减少计算时间和空间上的复杂性,降低计算成本。

(4)模型适应值函数设计使得该模型的通用性较强,能在所有城市空间生长分析中使用,只需使用者提供不同的支持数据,而无需改变适应度函数中的参数。

适应函数是遗传算法进化的指导准则,适应函数越复杂,遗传算法进化到编码空间的最优解位串过程就越缓慢,或者容易收敛到局部最优位串,甚至成为模式欺骗问题。因此,关于进化类算法与搜索空间特征的关系的研究一直是一个重要内容,本模型适应度函数也需要在今后的使用中进行考验和验证。

8.2.2 UG-GA模型的迭代停止条件与问题的约束条件

1. UG-GA模型的迭代停止条件确定

严格地讲,遗传算法的迭代停止条件目前尚无定论。当适应度函数的最大值已知或者准最优解适应度的下限可以确定时,一般以发现满足最大值或准最优解作为遗传算法迭代停止的条件。但是,在许多组合优化问题中,适应度最大值并不清楚,其本身就是搜索的对象,因此适应度下限很难确定。所以,在许多应用事例中,若发现群体个体的进化已趋于稳定状态,换句话说,若发现占群体一定比例的个体已完全是同一个体,则终止算法迭代。在UG-GA模型中迭代停止条件可确定为,当发现前后两代种群中的个体基本无变化,或在同一种群中的多数个体完全相同时停止迭代运算。

2. UG-GA模型约束条件确定方式

在实际应用中,许多问题都是带约束条件的。遗传算法由于仅靠适应度来评估和引导搜索,所以求解问题所固有的约束条件不能明确地表示出来。按理说,我们可以采用一种十分自然的方法来考虑约束条件,即在进化过程中,迭代一次就设法检测一下新的个体是否违背了约束条件,如果没有违背,则作为有效个体,反之,作为无效个体除去。但是这种约束的反应可能会对运算过程产生障碍,降低自动运算的效率,即这种方法对于弱约束问题求解还是有效的,但对于强约束问题求解效果不佳,因为在这种场合下,寻找一个有效个体的难度不亚于寻找最优个体。

作为对策,可采取一种惩罚方法。该方法的基本思想是设法对个体违背约束条件的情况给予惩罚,并将此惩罚体现在适应度函数设计中(陈国良 等,1996)。这样,一个约束问题就转换为一个附带考虑代价或惩罚的非约束化问题。如果存在约束条件 $b(X) > C$,则

$$f'(X) = f(X) + r\Phi(b(X) - C) \tag{8-4}$$

这就是适应度函数重新计算。其中,$f(X)$为原来适应度函数,r 为惩罚系数,Φ 为

惩罚函数。

在 UG-GA 模型中，存在着必要的约束条件，种群中的个体必须满足这些约束条件，但是如果每次按约束条件搜索个体，将给算法增加一定难度，因此，把其改为惩罚函数更为可行。模型中的约束条件主要包括以下两方面。

(1)城市增长面积限制。

每一个个体根据其用地选择情况都会计算出城市用地增长面积值，也就是每一个方案都会对应一个增长面积值，在此，城市用地增长面积必须符合所反映年代的城市人口增长规模和用地增长规模，若过大或过小，即使其适应值再高也必须排除。因此，把该约束条件 $S_{sum}>A$ 转为惩罚函数，结果可表示为

$$\Phi_a = \Phi(S_{sum} - A)$$

其中，S_{sum} 为通过相应个体计算出的城市增长面积值，A 为城市增长面积限制值。

(2)不同类别用地比例要求限制。

用地类别比例也是算法中的限制条件之一，在此设第 i 类用地的比例限制值为 C_i，P_i 为通过每一个体计算出的用地类别比例值，则据此获得惩罚函数为

$$\Phi_i = \Phi(P_i - C_i)$$

惩罚结果将在最后的适应值计算中反映出来，也就是利用惩罚函数计算出相应的值后，把惩罚值代入最后的适应值计算公式以获得最后的适应值结果，即

$$f'(\chi) = f(\chi) + r_a\Phi_a, + r_1\Phi_1 + r_2\Phi_2 + \cdots r_m\Phi_m \tag{8-5}$$

其中，m 为用地类别数。

§8.3　UG-GA 模型遗传算子选择

生物在其延续生存的过程中，逐渐适应其生存环境，使得其品质不断得到改良，这种生命现象称为进化。生物的进化是以种群的形式进行的，遗传操作是模拟生物基因遗传的操作。在遗传算法中，通过编码组成初始群体后，遗传操作的任务就是群体的个体按照它们对环境适应的程度(适应度评估)施加一定的操作，从而实现优胜劣汰的进化过程。

从优化搜索的角度，遗传操作可使问题的解一代又一代地优化，并逼近最优解。标准遗传算法的操作算子一般都包括选择(或复制)、交叉(或重组)和变异三种基本形式，它们构成了遗传算法具备强大搜索能力的核心，是模拟自然选择及遗传过程中发生的繁殖、杂交和突变现象的主要载体。这三个遗传算子的操作都是在随机扰动情况下进行的。因此，群体中个体向最优解迁移的规则是随机的。这种随机操作和传统的随机搜索方法是有区别的，遗传操作进行的是高效有向的搜索而不是如一般随机搜索方法所进行的无向搜索。三个基本遗传算子的操作方法或操作策略及效果随具体求解问题的不同而异，也和上述三个遗传算子所取的操

作概率、编码方法、群体大小、初始群体，以及适应度函数的设定密切相关。

8.3.1 UG-GA 模型中的选择算子

1. UG-GA 模型中的选择操作

选择是指决定以一定的概率从种群中选择若干个体的操作，一般而言，选择是在有限资源空间上的排他性竞争，选择的过程是一种从群体中选择优胜的个体，淘汰劣质个体的过程。选择算子有时又称为再生算子，选择的目的是把优化的个体直接遗传到下一代或通过配对交叉产生新的个体再遗传到下一代。选择操作是建立在群体中个体的适应度评估基础上的，它是随机映射，即

$$T_s: \boldsymbol{S}^N \rightarrow \boldsymbol{S}$$

选择算子根据排序方式、选择的方式不同有不同的分类方式，如果单纯按排序方式不同，可分为按比例的适应度分配(proportional fitness assignment)和基于排序的适应度分配(rank-based fitness assignment)，基于其上又有不同的选择方式。

1)按比例的适应度分配

在 UG-GA 模型中，主要采取按比例的适应度分配，也称为适应度比例选择，可称为选择的蒙特卡罗法。适度值比例选择是最基本的选择方法，其中每个个体被选择的期望数量与其适应值和群体平均适应值的比例有关，这种方式首先计算每个个体的适应值，然后计算出此适应值在群体适应值总和中所占的比例，表示该个体在选择过程中被选中的概率，即利用每个个体适应度的概率决定其子孙的遗留可能性。在此，用 $f(\boldsymbol{X}_i)$ 表示种群 $\boldsymbol{X}$ 中的个体 $\boldsymbol{X}_i$ 的适应值，则其被选取的概率表示为

$$P\{T_s^{\alpha}(\boldsymbol{X}) = \boldsymbol{X}_i\} = \frac{f^{\alpha}(\boldsymbol{X}_i)}{\sum_{k=1}^{N} f^{\alpha}(\boldsymbol{X}_k)} \tag{8-6}$$

式中，T_s 为选择算子；α 为选择算子的指数。α 越大，适应值大的个体越容易被选择，选择的压力越大，搜索空间越小；反之，α 越小，选择的随机性越大，适应值大小在选择过程中起到的作用越小，选择压力越小，搜索空间也就越大。

选择个体的方式又称为适应值选择算子。适应值选择算子依赖于种群 $\boldsymbol{X}$，它是种群 $\boldsymbol{X}$ 上的一个概率分布，即对于种群 $\boldsymbol{X}=(\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2, \cdots, \boldsymbol{X}_N)$ 有概率分布为

$$P\{\boldsymbol{X}_i\} = \frac{f^{\alpha}(\boldsymbol{X}_i)}{\sum_{k=1}^{N} f^{\alpha}(\boldsymbol{X}_k)}$$

其中，$P\{\boldsymbol{X}_i\}$ 满足条件：

(1) $P\{\boldsymbol{X}_i\} > 0$ $(i \leqslant N)$。

(2) $\sum_{i=1}^{N} P\{\boldsymbol{X}_i\} = 1$。

显然，概率 $P\{\boldsymbol{X}_i\}$ 反映了个体 $\boldsymbol{X}_i$ 的适应度在整个群体的个体适应度总和中所占

的比例。个体适应度越大，其被选择的概率就越高，反之亦然。选择过程体现了生物进化过程中“适者生存，优胜劣汰”的思想，并且保证优良基因遗传给下一代个体。

按比例的适应度分配选择通常采用轮盘赌方式实现。轮盘赌选择法(roulette wheel selection)是最简单的一种选择方法。首先给出个体适应度、选择概率和累积概率，为选择交配个体，需要进行多轮选择，每一轮产生一个[0,1]均匀随机数，将该随机数作为选择指针来确定被选个体。在轮盘赌选择法中，当个体数不太多时，依据产生的随机数有可能会出现不正确地反映个体适应度的选择，也就是说，适应度高的个体也有可能被淘汰，适应度低的个体也有可能被选择。为克服这种误差，常采用期望值模型(expected value model)克服，期望值模型法计算群体中每个个体在下一代生存的期望数目，若某个体被选中并要参与配对和交叉，则它在下一代中的生存期望数目减去 0.5；若不参与配对和交叉，则该个体的生存期望数目减去 1；在这两种情况中，若一个个体的期望值小于零时，则该个体不参与选择。De Jong(1975)曾对比了适应度比例选择法、期望值模型法和最佳个体保存法用于函数优化中的性能，表明采用期望值模型法的遗传算法离线性和在线性都高于采用另外两种方法的遗传算法性能。其他方法还包括随机遍历抽样(stochastic universal sampling)、排序选择方法(rank-based model)等。

2)基于排序的适应度分配

UG-GA 模型中也可以采用基于排序的适应度分配方法。在基于排序的适应度分配中，种群按目标值进行排序，适应度仅仅取决于个体在种群中的序位，而不是实际的目标值。在选择方法上，有局部选择(local selection)、截断选择(truncation selection)、锦标赛选择或联赛选择方法(tournament selection)等。在局部选择法中，每个个体处于一个约束环境中，称为局部邻集(而其他选择方法中视整个种群为个体之邻集)，个体仅与其邻近个体产生交叉，该邻集的定义由种群的结构给出，邻集可被当做潜在的交配伙伴。截断选择是一种人工选择方法，它适合于大种群。在截断选择法中，个体按适应度排序，只有最优秀的个体能够被选作父个体；截断选择的参数叫做截断阀值 Trunc，它定义为被选作父个体的百分比，取值范围为 50%～10%，在该阀值下的个体不能产生子个体。锦标赛选择或联赛选择方法是随机地从种群中挑选一定数量个体，然后将最好的个体选做父个体，这个过程重复进行直到完成个体的选择；锦标赛选择的参数为竞赛规模 Tour，其取值范围为[2,Nind]，Nind 表示种群中的个体个数。

2. 选择算子性能评价

对于选择算子，有以下参数用来评价选择方法某个方面的优劣。

(1)选择压力(selection pressure)：最佳个体选中的概率与平均选中概率的比值、最佳个体与最差个体被选择的概率之比。

(2)偏差(bias)：个体正规化适应度与其期望再生概率的绝对差值。

(3)个体扩展(spread):单个个体子代个数的范围。

(4)多样化损失(loss of diversity):在选择阶段中未选中的个体数目占种群的比例。

(5)选择强度(selection intensity):将正规高斯分布应用于选择方法,期望平均适应度。

(6)选择方差(selection variance):将正规高斯分布应用于选择方法,期望种群适应度的方差。

不同选择方法的行为是有差别的,基本遗传算法达到收敛的世代数与选择强度成反比。较高的选择强度是很好的选择方法,但太高会导致收敛过快,解的质量差。种群大小往往依赖于目标函数的维数和选择强度,而选择强度又与选择参数(如选择压力、截断阀值、竞赛规模)有关(李敏强 等,2002)。顺序方法克服了比例适应度计算的尺度问题,是引入种群均匀尺度、提供控制选择压力的简单有效的方法。线性排序选择法只允许较小区间的选择强度,截断选择因为低于适应度阀值之下的个体没有机会被选择,会导致比排序选择和锦标赛选择更高的多样化损失,而对于同样的选择强度,截断选择的选择方差比排序选择和锦标赛选择的小。

8.3.2 UG-GA模型中的杂交算子

有性生殖生物在繁殖下一代时两个同源染色体之间通过交叉而重组,亦即在两个染色体的某一相同位置处DNA被切断,对应基因段交换,形成两个新的染色体。这个过程又称基因重组,俗称"杂交",也叫交叉、交换、交配。遗传算法交叉算子是模仿自然界有性繁殖的基因重组过程,是遗传算法具备的原始性的独有特征,杂交过程中,通过遗传,父代个体通过有性方式将原有的优良基因遗传给下一代个体。交叉方式基本上与代码设定、适应值函数设计没有关系,它的操作包括以下内容。

1. 选择交叉方式和交叉位

交叉算子是母体空间到个体空间的映射,记为

$$T_c : \boldsymbol{S}^2 \rightarrow \boldsymbol{S}$$

交叉算子是通过母体中两个个体间部分基因的交换,实现个体间信息的交流。遗传算法中常见的交叉算子包括单点交叉(one-point crossover)、双点交叉(two-point crossover)和多点交叉(multi-point crossover)三种。在交叉操作中,不只要选择交叉方式,还要根据位串长度 L,对要交配的一对个体随机选取一个或多个整数 k 做为交叉位置。

1)单点交叉

单点交叉是由霍兰德提出的最基础的一种交叉方式。它通过随机确定一个基因位置作为杂交点,再把一对母体的两个个体从杂交点分成前后两个部分,交换两个个体的后半部分得到两个新个体,取第一个个体为杂交结果。

2）双点交叉

如果确定两个基因位置，将一对母体的两个个体分成三部分，交换中间部分，称为双点交叉。对于双点交叉而言，若染色体长为 n，则可能有$(n-2)(n-3)$种交叉点的设置。

3）多点交叉

多点交叉是前述两种交叉的推广，有时又被称为广义交叉(generalized crossover)。一般来讲，多点交叉较少采用，因为它影响遗传算法的在线性能和离线性能，不能有效地保存重要的模式。一致交叉(uniform crossover)包括在多点交叉范围内，也称为均匀交叉。所谓一致交叉是指通过设定屏蔽字(mask)来决定新个体的基因继承两个旧个体中哪一个个体的对应基因。一致交叉的操作过程为：当屏蔽字中的位为 0 时，新个体 A'继承旧个体 A 中对应的基因，当屏蔽字中的位为 1 时，新个体 A'继承旧个体 B 中对应的基因，由此生成一个完整的新个体 A'；反之，可生成另一个新个体。

对于不同的编码方式，还可以设计不同类型的交叉算子，如前面二维交叉、树结构交叉、Messay 遗传算法中的交叉，以及 TSP 问题中的部分匹配交叉等。

2. 从交配池中取出要交配的一对个体实施交叉操作

从交配池中随机取出要交配的一对个体被称为母体，所有母体的全体称为母体空间，即

$$\boldsymbol{S}^2 = \{(\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2) \mid \boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2 \in \boldsymbol{S}\}$$

母体的选择也可以在适应度比例基础上进行，它是映射，即

$$T_s : \boldsymbol{S}^N \to \boldsymbol{S}^2$$

可以按照以下算子独立地选择两个个体构成母体，即

$$P\{\boldsymbol{X}_i, \boldsymbol{X}_j\} = P\{T_s^2(\boldsymbol{X}) = \boldsymbol{X}_i, \boldsymbol{X}_j\} = \frac{f^a(\boldsymbol{X}_i)}{\sum_{k=1}^{N} f^a(\boldsymbol{X}_k)} \cdot \frac{f^a(\boldsymbol{X}_j)}{\sum_{l=1}^{N} f^a(\boldsymbol{X}_l)} \tag{8-7}$$

容易看到母体选择算子构成种群乘积空间上的二维概率分布为

$$\boldsymbol{P} = \begin{bmatrix} P\{\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_1\} \cdots P\{\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_N\} \\ P\{\boldsymbol{X}_N, \boldsymbol{X}_1\} \cdots P\{\boldsymbol{X}_N, \boldsymbol{X}_N\} \end{bmatrix}$$

二维概率分布 $\boldsymbol{P}$ 是 $N \times N$ 阶矩阵，且满足性质：

(1) $P\{\boldsymbol{X}_i, \boldsymbol{X}_j\} > 0$ $(i, j \leqslant N)$。

(2) $\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} P\{\boldsymbol{X}_i, \boldsymbol{X}_j\} = 1$。

配对个体在交叉位置处，根据交叉概率 P_c 实施交叉操作，相互交换各自的部分内容，从而形成新的一对个体。在此，交叉概率 P_c 控制着交叉算子的应用频率，在每一代新的群体中需要对 $P_c \times n$ 个个体的染色体结构进行交叉操作，交叉概率

越高，群体中新结构的引入越快，已获得的优良基因结构的丢失速度也相应提高，而交叉概率太低则可能导致搜索阻滞。一般取 $P_c=0.60\sim1.00$。

8.3.3 UG-GA 模型中的变异算子

在细胞进行复制时可能以很小的概率产生某些复制差错，从而使 DNA 发生某种变异，产生出新的染色体，这些新的染色体表现出新的性状，可以遗传给子代个体。在遗传算法中，变异发生在交叉重组之后，子代变量以变异操作模拟自然界生物体进化中染色体上某位基因发生的突变现象，从而改变染色体的结构和物理性状。一方面，由于当交叉操作产生的后代个体的适应值不再比它们的前辈更好，但又未达到全局最优解时，就会发生成熟前收敛或早熟收敛，变异算子可以使群体进化过程中丢失的等位基因得以恢复，同时使得遗传算法保持种群的多样性，以保持群体中的个体差异性，防止发生成熟前收敛；另一方面，当种群规模较大时，在交叉操作基础上引入适度的变异，也能提高遗传算法的局部搜索效率，这时引入变异算子往往能产生很好的效果。变异实际上是子代基因按小概率扰动产生的变化，在此，依据个体编码表示方法的不同，有以下几种算法。

1. 二进制变异

对于二进制编码而言，变异意味着翻转。对于每个个体，变量值的改变是随机的，即对于给定的染色体位串 $S=\{a_1,a_2,a_3,\cdots,a_L\}$，有

$$O(P_m,x_i):a'_i=\begin{cases}1-a_i, & \text{若 } x_i\leqslant P_m\\ a_i, & \text{其他}\end{cases} \tag{8-8}$$

其中，$i\in\{1,2,\cdots,L\}$；x_i 是对应于每一个基因位产生的均匀随机变量，$x_i\in[0,1]$；P_m 为变异概率。

2. 实值变异

对于实值编码方式变异，变异步长的选择比较困难，最优的步长视具体情况而定，甚至在优化过程中可能改变，通常，较小的步长会比较成功，但有时，大步长变异效果更快、更明显。

3. 换位变异方法

对于某些大字符编码方式，可采用换位变异方法，即在染色体上随机地产生两个变异点，交换两点上的基因，如图 8-3 所示。

0	1	2	1	0
0	1	2	2	3
2	2	1	1	0
2	4	3	3	0
2	3	0	0	0

0	3	2	1	0
0	1	2	2	3
2	2	1	1	0
2	4	3	1	0
2	3	0	0	0

图 8-3 换位变异

UG-GA 模型可以根据实际编码情况选择二进制变异或换位变异方法，都可以达到引进新高阶模块的作用。除了上述基本变异法以外，针对具体问题及为了便于对进化过程实施控制，也可以引入其他类型的变异算子，如特定有效位变异（高位、低位）、变异概率自适应调整、面向领域知识的位变异等。变异操作是保持群体多样性的有效手段，它本身是一种局部随机搜索，与选择或重组算子结合在一起，保证了遗传算法的有效性。

在变异操作过程中，变异概率 P_m 是其中一个重要参数，交叉结束后，交配池中的全部个体位串上的每位基因按变异率 P_m 随机改变，这样，每代中大约发生 $P_m \times n \times L$ 次变异。如果变异概率大于 0.5，遗传算法将变成随机搜索，而遗传算法的一些重要的数学特性和搜索能力也不复存在，因此，为了保证个体变异不会与其父体产生太大的差异，变异概率的取值不能太大，以保证种群发展的稳定性。但是如果变异概率太小，则可能使某些基因位过早丢失的信息无法恢复。因此，一般取 $P_m = 0.005 \sim 0.01$。据研究，对于单峰函数，开始时增加变异概率，结束时减少变异概率可以改善搜索速度，但是对于多峰函数变异率的自适应过程是很有益的选择。在此，任给两个个体 $\boldsymbol{X}_i, \boldsymbol{Y}_i \in \boldsymbol{S}$，$\boldsymbol{X}_i = (x_1, x_2, \cdots, x_L)$，$\boldsymbol{Y}_i = (y_1, y_2, \cdots, y_L)$，有

$$P\{T_m(\boldsymbol{X}_i) = \boldsymbol{Y}_i\} = P_m^{d(\boldsymbol{X}_i, \boldsymbol{Y}_i)} (1 - P_m)^{L - d(\boldsymbol{X}_i, \boldsymbol{Y}_i)} \tag{8-9}$$

其中，T_m 表示变异算子；$d(\boldsymbol{X}_i, \boldsymbol{Y}_i) = \sum_{k=1}^{L} | x_k - y_k |$ 为 $\boldsymbol{X}_i$ 与 $\boldsymbol{Y}_i$ 之间的 Hamming 距离。

8.3.4　其他算子

除了以上所涉及的基本算子外，还有逆转算子、补算算子、删除算子等。在某些情况下，为了增加种群多样性，弥补基本模式的不足，可以考虑应用于 UG-GA 模型中。

其中，逆转算子，也称倒位，由霍兰德提出，是自然遗传学中的一种现象，通过反转位串上的一段基因的排列顺序，形成新的染色体；即确定染色体中的两个倒位点，这两点间的基因作为染色体上的一部分，在脱离之后反转 180°再与另两段连接起来，形成新的个体位串。这样会使得那些在父代中离得很远的基因位在后代中紧靠在一起，使染色体位串上的重要基因更加紧凑，更不易被交叉算子所分裂，相当于重新定义基因块。

同时，在很多组合优化问题中，往往存在着多个最优解或者最优解往往被环绕在大量的劣解之中，应用遗传算法求解该类问题很容易形成模式欺骗问题，此时可以采用补算算子来增加群体多样性或者克服模式欺骗性。

8.3.5　UG-GA 模型遗传操作方式选择

通过以上选择、交叉、变异等算子，可以实现遗传算法操作，但是，为了使遗传

算法达到更好的效果，在选择、交叉过程中提出了其他改善操作的措施。因此，在UG-GA模型遗传操作方式的选择上，我们既可以采用标准遗传算法操作方式，也可以采用改善算法效率的精英选择(elitist model)方法、稳态繁殖(steady state reproduction)方法等。

1. 标准方式

标准遗传方式的特点是，在种群迭代过程中，把所有选择个体按交叉概率进行交叉操作，相对于以下的精英选择方式，标准选择方式没有对具有最优适应值的个体进行保留，这种方式可能会导致已出现的最优结构被随后的交叉操作破坏，影响最优解的寻找(张文修 等，2000)。其操作过程一般按以下程序进行。

(1)对于迭代次数 $n=0$ 给出初始种群 $\boldsymbol{X}(0)$。

(2)对于第 n 次迭代在 $\boldsymbol{X}(n)$ 中按以下分布独立地选择 N 个母体，即

$$P\{T_S(\boldsymbol{X}(n))=(\boldsymbol{Y}_1^{(k)},\boldsymbol{Y}_2^{(k)})\}=\begin{cases}\dfrac{f(\boldsymbol{Y}_1^{(k)})f(\boldsymbol{Y}_2^{(k)})}{\sum\limits_{\boldsymbol{X}_i\in\boldsymbol{X}(n)}f(\boldsymbol{X}_i)^2}, & \boldsymbol{Y}_1^{(k)},\boldsymbol{Y}_2^{(k)}\in\boldsymbol{X}(n)\\ 0, & \text{其他}\end{cases}\tag{8-10}$$

其中，$k=1\sim N$。

(3)对于以上选择的 N 个母体进行单点随机杂交，即

$$P\{T_c(\boldsymbol{Y}_1^{(k)},\boldsymbol{Y}_2^{(k)})=\boldsymbol{X}'_k(n+1)\}=\begin{cases}\dfrac{kP_c}{L}, & \text{若 } \boldsymbol{X}'_k(n+1)\neq\boldsymbol{Y}_1^{(k)} \text{ 且 } \boldsymbol{X}'_k(n+1)=\boldsymbol{A}\boldsymbol{Y}_1^{(k)}+(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{A})\boldsymbol{Y}_2^{(k)}\\ (1-P_c)+\dfrac{kP_c}{L}, & \text{若 } \boldsymbol{X}'_k(n+1)=\boldsymbol{Y}_1^{(k)}\\ 0, & \text{其他}\end{cases}\tag{8-11}$$

其中，P_c 是杂交概率，满足 $0<P_c\leqslant 1$；$\boldsymbol{A}$ 是一个对角线矩阵，前 r 个对角元素为1而其他元素为0；k 称为单点杂交的杂交点。

(4)设变异概率为 P_m，进行变异操作。

(5)如果满足停止条件，则停止，否则转向步骤(2)。

2. 精英选择

该选择方法也称为最佳个体保存方法，该方法的思想是把群体中适应度最高的个体不进行配对交叉而直接复制到下一代中，此种选择操作又称复制(copy)。采用此选择方法的优点是，进化过程中某一代的最优解可不被交叉和变异操作所破坏。

3. 稳态繁殖

将某一个个体加入到新的一代种群之前，先检查该个体与种群中现有的个体是否重复，如果重复就舍弃。这种做法会明显改善遗传算法的行为，因为其增大了个体在种群中的分布区域，同时也增加了计算时间。它与排挤方法(crowding)有异曲同工的作用，在自然界中，当一种群中的个体大量繁殖生存时，为争夺有限的生存资源，群体中个体之间的竞争压力必然加剧，因此，到一定程度，个体的寿命和出生率也会降低。基于这种机制，De Jong(1975)提出了排挤选择方法，采用该方法时，新生成的子代将替代或排挤相似的旧父代个体，该方法可提高群体的多样性。

§8.4　UG-GA 模型遗传算法应用趋势及收敛性分析

8.4.1　UG-GA 模型遗传算法应用趋势

遗传算法作为一种基于生物界自然选择和遗传原理的高效的搜索技术，已经成功地应用于工程设计、工商管理、科学实验等领域中的复杂优化问题的求解。城市空间生长也是一种复杂的选择优化过程，一般来讲，在城市空间生长过程中使用标准遗传算法可以在合理的计算时间内发现问题的满意最优解，但是随着问题规模和复杂程度的不断提高，如有些城市可能会面临城市规模大、地块数量多或用地类别繁杂等情况，这些都可能使模型的运行开销大幅度增加。同时，群体是遗传算法进化的基础，为了获得良好的遗传算法性能，一般建议采用较大群体规模，但是群体规模增大，搜索过程将会被成倍地延长，而遗传算法性能并不能同比例提高。这时，有必要考虑采取措施增加模型搜索速度。

1. 并行遗传算法

并行遗传算法是遗传算法的一个重要研究方向，并行遗传算法是采用多种群、有子种群的算法，每个子种群像单种群遗传算法一样独立地演算若干代后，在子种群之间进行个体交换。遗传算法由于其群体性操作，所以本质上具有很好的并行分布处理特性。尤其是遗传算法中各个体的适应度计算，是遗传算法中最大的计算开销，可独立进行而彼此之间无需任何通信，所以并行处理效率很高(Stender，1993)。这种多种群算法更加贴近于自然中种族的进化，而且提高了算法的搜索速度。但是，当前设计有效的并行遗传算法对于遗传算法的理论研究和应用研究仍是十分迫切的任务，因为并行遗传算法除适应度计算外，几乎所有的遗传操作都是建立在全局统计处理的基础上，这种全局统计处理引起的通信开销依然是不可忽视的。

2. 单纯多群体遗传算法

有专家提出单纯多群体遗传算法，单纯多群体遗传算法的基本思想是多群体

同时进化，其中多群体之间不存在染色体位串的迁移和基因交换，这一点与并行遗传算法不同。它要求每个子群体的进化独立进行，群体之间互不干扰，它能克服模式欺骗性，提供面向全局的最优解搜索。

3. 协同多群体遗传算法

协同多群体遗传算法在需要找到多个全局最优解和局部最优解，为决策者提供多种选择或者多方面信息时发挥作用。这类问题涉及多峰搜索问题或者多模态函数优化问题，即构造一种优化算法，使之能够搜索到尽量多的或者全部全局最优解，有人称之为协同多群体遗传算法，其已成为一个重要研究方向。

8.4.2 UG-GA模型遗传算法模式收敛性分析

在优化理论中，采用迭代算法求解一个特定问题，若该算法的搜索过程所产生的解或函数的序列的极限值是该问题的全局最优解，则认为该算法是收敛的，明确遗传算法模式收敛性，对于UG-GA模型最后解的把握具有重要作用。

1. 遗传算法的收敛性分析

遗传算法的收敛性不仅取决于前面提过的编码、初始群体、适应度函数、选择算子的设计，而且还取决于交叉算子和变异算子的设计。遗传算法的收敛性主要决定于作为其核心操作的交叉算子，交叉算子收敛性是当今遗传算法研究中的重要课题之一，目前仍无系统而全面的论述。但是，通过局部理论分析，尤其是大量的卓有成效的实验，对于交叉收敛性已有若干共识。交叉算子并未提供收敛性保证，虽然交叉缺乏收敛保证，但这并不影响遗传算法的实用性，有时，许多收敛算法由于其收敛性却牺牲了它们的全局性和灵活性。在适当的选择策略下，通过交叉可实现向最优解收敛，对于特定问题交叉算子的确定要经过多方分析，以保障在交叉过程中不丢失较优模式及收敛性的实现，排除变异仅有交叉的遗传算法可等效为有限吸收的过程。

遗传算法是一种以群体为基础的随机搜索过程，在模式空间上同样满足有限马尔可夫链的基本特征，具有齐次性，存在极限概率分布。由于模式空间的有限性，标准的遗传算法也可以搜索到模式空间内的任何一个点。根据模式定理，即使最优解位串包含在当前群体中，在交叉和变异算子的作用下仍然可能在生成下一代群体的过程中丢失。可见，标准遗传算法不能保证收敛到问题的最优解，但当群体规模比较大，迭代次数趋于无穷大时，群体中包含最优解是一个大概率事件。对标准遗传算法进行改进，采用精英保留策略，即当前群体最优解位串直接保留进入下一代群体，在这种情况下，随着迭代次数趋于无穷大，基于精英选择模型的遗传算法将以概率1收敛于问题的最优解。

2. 抑制未成熟收敛的对策

未成熟收敛是遗传算法中不可忽视的现象，它主要表现在群体中所有的个体

都陷于同一极值而停止进化，即接近最优解的个体总是被淘汰，进化过程不收敛。在 UG-GA 模型中，也会面临未成熟收敛问题，其遗传算法模型的编码、适应度函数和遗传操作等设计都对其成熟收敛性产生影响，这些需要在初始阶段或群体进化过程中合理选择和控制，以使遗传算法以最佳的搜索轨迹达到最优解。在此，主要通过以下方式控制。

(1)在其计算量允许的条件下尽可能增加种群群体规模，以增加个体多样性。

(2)确定合适的适应度函数，保证运算快速、有效进行。

(3)选用合适的选择算子，调整选择概率。可以把选择概率本身也作为个体来进行优化，这就是所谓元遗传算法。

(4)在选择后的种群中实施单一化。把相同的个体单一化，即不允许群体中有若干个相同个体出现，维持群体中个体的多样性。

(5)增大配对个体距离，配对选择一般是随机进行的，其中缺少对个体间相似度的判断，因此，有可能使交叉结果未能产生新个体。作为改进，可用海明距离测度来判断配对个体的相似度，并由此决定配对与否。

(6)提高变异概率，在进化初始阶段，它可以加强遗传算法的随机搜索能力。

以上几种对策的效果各不相同。为了有效地克服未成熟收敛，这些对策也需要在进化过程中分阶段使用或交替使用。实际上，上述参数与问题的类型有着直接的关系。问题的目标函数越复杂，参数选择就越困难。从理论上讲，不存在一组适用于所有问题的最佳参数值，随着问题特征的变化，有些参数的差异往往非常显著。如何设定遗传算法的控制参数，以便遗传算法的性能得到改善，还需要结合实际问题深入研究，以及有赖于遗传算法理论研究的新进展。

第9章　UG-GA模型实现

§9.1　UG-GA模型实现的数据及功能支持

9.1.1　UG-GA模型系统结构

UG-GA模型是城市规划管理大系统的一个组成部分，城市规划分析评价是规划方案制订的重要内容，是城市规划管理大系统的发展和提升。它既可以在规划前为规划方案提供思路和参考，也可在规划方案后对其进行评价，其目标是一致的。本书中的系统只是城市规划管理分析子系统中的一个模型，通过该模型对城市空间生长进行分析与预测，它可通过相关参数的设定，在历史、现状及规划数据的基础上进行分析（如图9-1所示）。

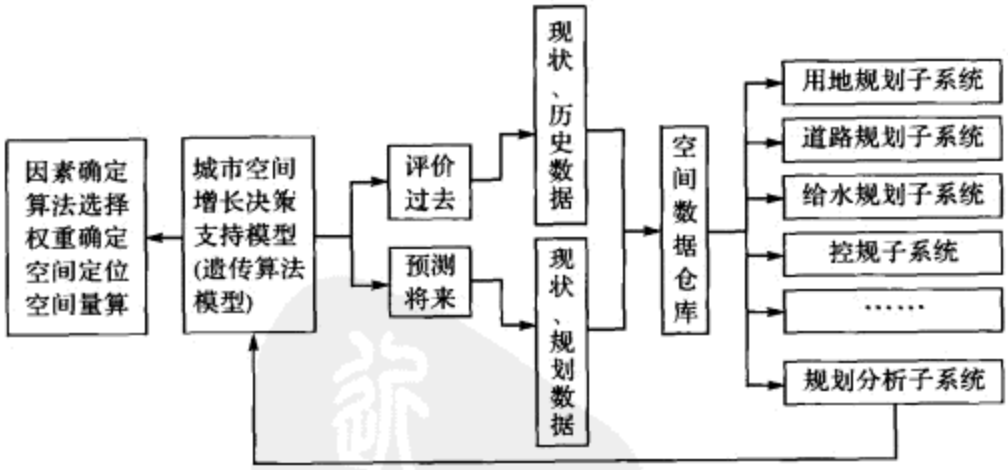


图9-1　UG-GA模型系统结构

9.1.2　UG-GA模型实现数据支持

1. 全时态数据支持

以往人们常常忽视时态信息的存在，或者说时态信息的存在是零散的、不系统的。在城市规划中使用信息技术，所进行的规划信息数字化也是静态的，即使能够不断更新保证数据的现势性，也只是保留当前状态信息，历史信息则被忽略，这使得规划基础资料不完整，降低了城市规划的科学性和预见性。时态GIS是社会发

展和信息技术发展的必然趋势，在城市规划中使用时态 GIS 将不仅有利于数据的更新，更重要的是它保存了现状与历史的联系，使人们可以追溯城市发展的历史，挖掘城市发展规律，对城市规划和管理都具有重要意义。

在城市规划管理过程中，将涉及城市过去、现在和将来 3 个时间段的数据，其中，现在是一个时间点，现在的以前是过去，现在的以后是将来。在过去的时间里，用地的发展沿时间轴呈线性发展，但针对规划数据来说，对于未来某一时间的规划将随着现实的发展变化不断进行调整，因此，它会在现在时间点的不断推进中产生新的发展路径。如图 9-2 所示，$B1\sim C$、$B2\sim C$、$B3\sim C$ 分别表示 $B1$、$B2$、$B3$ 时间点上的城市用地规划所描述的城市用地将来状态。

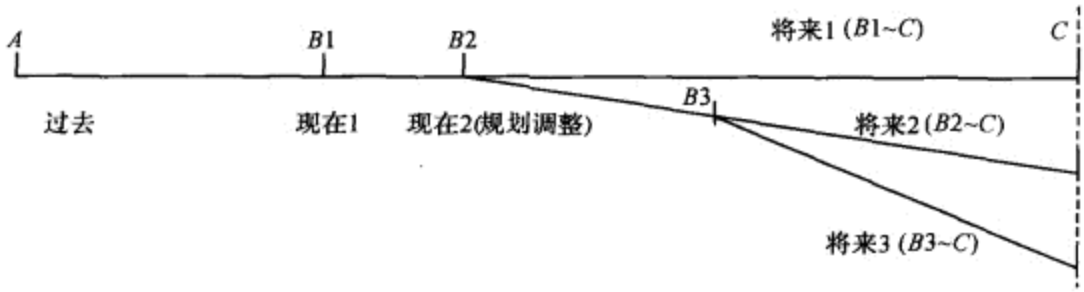


图 9-2　城市规划时态数据构成

过去、现状及规划数据之间存在着一定的联系。如果能全面记录以上数据，将对分析人们对城市认识的程度、对城市的认识过程及人们的认识结果和实际建设的关系等都有重要作用。

1）历史数据

城市历史数据包括城市的历史沿革、城址变迁、市区扩展资料等，如过去不同时期的城市建设用地数据及道路发展等专项数据。

城市用地发展过程是一个复杂过程，它既有内在发展规律控制又有外在因素干扰，既有主观因素影响又有客观因素限制。因此，要想深入了解城市的发展状态和发展规律，就应较全面、较详细地记录城市的发展过程。以前城市用地仅存的不多的历史数据基本上为时空序列快照模型，即通过记录某一空间内不同时间点的所有对象的空间状态，将某一时间段内地理现象的变化过程，用其中间的序列快照来表达，如图 9-3（武汉市城市规划管理局，1996）所示，这一点通过定期城市用地调查就可以实现，方法直观且简单，尤其当前遥感卫星数据的不断发展更是为此提供了有利的支持（Kienast，1993）。

2）现状数据

现状数据是分析的基本条件数据，主要涉及用地自然条件、各类用地使用与分布状况及道路、园林、水面、市政设施分布等各类专项数据（如图 9-4 所示）。在此，现状也是一个相对的概念，即在下一时刻，现状将变成历史，而新的现状将会构成

城市未来发展的新条件。现状数据主要包括如下几个方面。

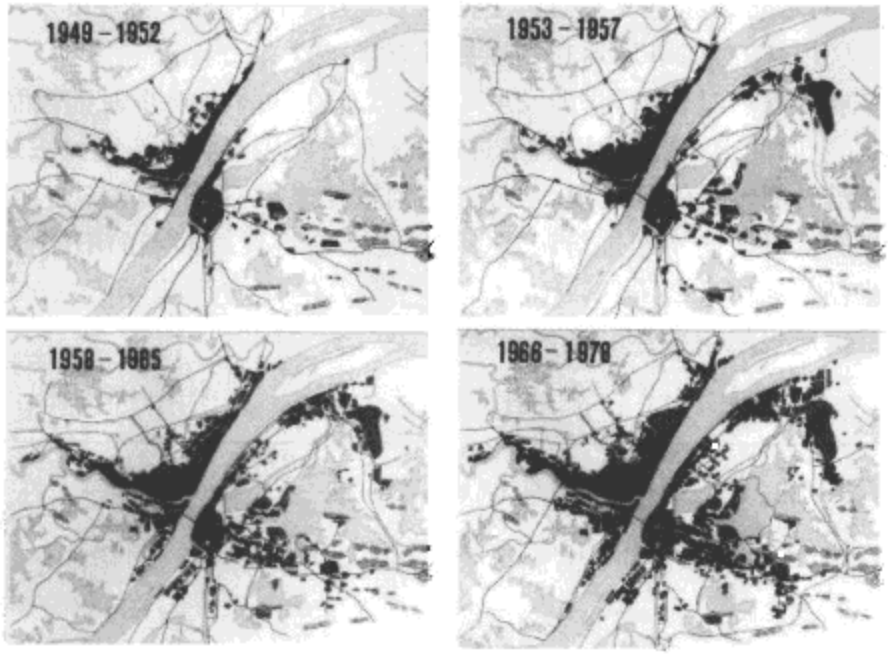


图 9-3 城市发展历史数据示例



(a) 用地现状 (b) 市政设施分布

图 9-4 城市发展现状数据示例

(1)自然地形及地质数据,包括不同工程地质条件和地面坡度,潜在地质灾害空间分布及强度划分等。

(2)城市土地利用数据,包括城市规划发展用地范围内的土地利用现状、区域基础设施状况、城市主次干道、重要对外交通、市政公用设施的位置等数据。

(3)城市商业中心区及市、区级中心的位置,各类商品大型销售市场的分布情况。

(4)主要风景名胜、文物古迹、自然保护区的分布和开发利用条件。

(5)城市建筑情况,包括住宅建筑面积、建筑质量、居住水平、居住环境质量等数据。

(6)主要产业及工矿企业分布状况,现有经济技术开发区、高新技术开区、出口

加工区、保税区等范围及各类仓库、货场现状位置。

(7)城市土地质量的综合评价等。

(8)现有园林绿化系统和河、湖水面范围等数据。

3)规划数据

包括总体规划、分区规划、控规中的用地规划及各种专项规划数据(如图 9-5 所示)。

(1)城市总体规划包括规划建设用地范围内的各项规划内容,主要为各类用地的布局,详细涉及市、区级中心及主要公共服务设施的布局,区域性交通设施、基础设施、环境保护、风景旅游区的总体布局等。

(2)地块控规数据包括地块建筑容量规划数据,建筑高度、容积率等控制指标及分区界线。

(3)道路广场规划包括规划主、次干道和支路的走向、红线、断面,主要控制点坐标、标高,主要广场、停车场位置和用地范围等。

(4)园林绿地规划包括河、湖水面的用地界线和保护范围等。

(5)历史文化名城规划包括重要地段的高度控制、文物古迹及历史地段的用地界线和保护范围。

(6)郊区规划包括郊区主要乡镇企业、村镇居民点及农地和副食基地的布局,禁止建设的绿色控制范围等。



(a)总体规划　　(b)绿化控制

图 9-5　城市发展规划数据示例

2. 涉及数据范畴

专题数据是构成因子库的重要内容,可根据需要不断添加,数据涉及内容广泛,数据形式多样,包括各种城市构成要素的现状与规划分布数据,也包括高度、密度等等级数据或指标控制数据。例如:

(1)用地坡度、地质构造等级分布数据。

(2)河湖水面、山体实体分布数据。

(3)城市道路现状及规划分布数据。

(4)工业用地、商业中心分布数据。

(5)小学、中学、医院、消防设施分布数据。

(6)洪水淹没等级数据。

(7)铁路、铁路站点、飞机场、港口、客运站分布数据。

(8)污染源及影响范围数据。

(9)城市绿化现状及规划范围数据。

(10)城市用地建筑密度及容积率分布数据。

(11)近期规划建设项目分布数据。

这些数据针对不同的城市所起的作用会有所不同,在具体操作时,可以根据各城市的实际情况和分析需要有选择地使用。

9.1.3 UG-GA模型功能支持

1. 数据输入

1)城市空间生长基准层输入

包括地块单元图层及一定时期的城市发展范围图层,叠加在一起构成城市用地扩展分析的基准层,通过它承载用地增长作用因子的作用力计算值。

2)城市空间生长因子层输入

输入与城市空间生长相关的影响因子信息,明确其数据库结构,如向心力源与离心力源图层的建立及各种城市空间分布要素图层的建立等,模型实现过程中可根据实际情况从所有相关的城市空间生长因子层中选择其主要作用的因子。

2. 编码设定

编码可按实际情况设定,可选择两种地类或多种地类,地类增多会增加计算的复杂性。其中,地类及所占百分比可以参照《城市用地分类与规划建设用地标准》并结合城市实际状况,其代码为十进制数字形式,尽量以最简单的编码方式来满足城市用地增长分析的目的,抓住重点,有的放矢。

3. 因子层选择及参数设定

在因子数据库中选择要使用的因子层,即对引起城市空间生长的主要向心力、离心力、区域条件引力、区域条件阻力所对应的因子层进行选择,并对参与计算的字段及权重等相关参数进行设定。由于因子层会涉及很多信息或属性,因此要在因子层上选择使用的字段,该字段里的值将成为模型计算中的参数,在此要求被选择字段内的数据形式符合模型计算的要求,否则,需要预先进行数据处理。选择好的因子层还需要借助GIS的相关功能与基准层进行叠加、缓冲区等操作,再进行计算,这些过程将在因子层及参数设定好以后由系统自动完成。

4. 适应值计算

适应值的计算是多因子的量化操作过程,是一种数学方法的使用。适应值的

计算结果会根据所建立的数学公式的不同而有所不同，基本上是一种模糊性的、带有权重的多元线性模型，它是在所选因子层、所设定参数及相关限制因素基础上进行的，该结果是衡量城市空间生长方案优劣的依据，遗传算法中的选择和迭代等过程都是基于适应值大小进行操作的。

5. 遗传因子参数设定

遗传算法在操作过程中也会涉及相关参数的设定，主要指种群规模、交叉概率和变异概率，迭代次数等参数。这表明在遗传算法计算过程中，有些过程是固定的，而有些过程可以变化，即遗传算子中的有些参数可以在其要求范围内根据计算效果和要求进行相应调整，在不同的设定参数下，遗传算子寻优的速度、效率会有所变化，收敛效果也会有所不同。

6. 遗传运算

在遗传算法理论研究中，选择算子、交叉算子及变异算子也有多种方式，但在城市空间生长模型设计中将选定其中一种就不再改变。因此，在遗传因子的相关参数设定好以后，就将按已设计好的选择算子、交叉算子及变异算子的选择或交叉方式进行反复操作，直到获得满意解。

7. 显示

当依据遗传算法进行运作和计算而获得满意解后，满意解所代表的城市空间生长形态应该被显示出来，它将是一种可参考的城市空间生长布局方案。在 GIS 空间显示功能的支持下，可以进行数据的放大、缩小、平移等显示操作，还可进行不同的专题显示操作。直观地反映出计算结果。

8. 要素评价

不同历史时期的城市空间生长影响因素的作用程度不同，在对城市空间生长过程的模拟上，不同因子及权重的选择和设定不同，会产生不同的生长结果，根据模拟生长结果与实际城市发展状况的对比，会发现不同城市空间生长影响因素的作用强度差异，在此基础上可对城市空间生长影响因素及其作用强度进行对比及评价。

§9.2　UG-GA 模型实现过程

9.2.1　基准层确定

依据地块单元的划定方式，基准层的确定也存在以下两种形式，这两种形式都是在一定理想化状态下进行的。

1. 采用规则地块的基准层确定方式

采用规则地块确定的基准层既具有栅格数据特征又具有矢量数据特征，把某些问题简化，又能在一定程度上反映问题，但是地块大小不好把握（如图 9-6

所示)。

2. 采用自然地块的基准层确定方式

自然地块根据实际情况也有不同的划分方式和分辨率。在此,可以选择规划用地单元,包括总体规划和控制性详细规划,也可以选择城市道路网围合成的城市地块单元,它们提供了更准确的城市未来用地可能发展形式(如图 9-7 所示)。当基准层做好以后,染色体个体的长度就已经确定下来,下一步就是确定遗传算法的编码方式。

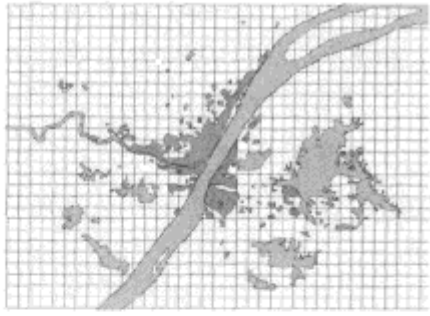


图 9-6　规则地块方式确定基准层



图 9-7　自然地块方式确定基准层

9.2.2　代码及初始种群设定

在模型实现的具体操作过程中,代码值应是一个可变的参数,可通过对话框(如图 9-8 所示)输入,形成特定要求下的特定代码方式(见表 9-1)。

一般情况下,在城市用地分类标准的限定下,为了突出城市扩展主体,代码可以简化设定为非建设用地、居住及工业三种,也可以根据实际情况增加其他类别,则染色体基因由此确定。

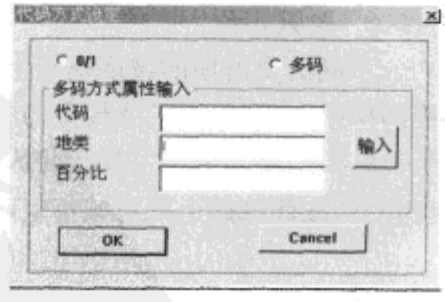


图 9-8　代码输入操作

表 9-1　用地代码

代码	用地类型	所占百分比/%	备注
0	非建设用地	0	不属于城市用地,不参与计算
1	居住	p	按国家标准设定
2	工业	q	按国家标准设定
3	公共服务设施	d	按国家标准设定
…	…	…	…

当基准层确定后，染色体的长度 n 就确定下来，根据实际需要和染色体长度 n 确定初始种群规模 m，则初始种群即可确定(见表 9-2)。每一染色体内的基因位既可随机获取，也可事先指定。

表 9-2　初始种群

待建设地块 ID	染色体 1	染色体 2	…	染色体 m
1	0	1	…	1
2	1	1	…	2
3	1	2	…	0
…	…	…	…	…
$n-1$	0	2	…	2
n	2	0	…	0

9.2.3　适应值计算

1. 影响因子的选择

适应值的计算是模型实现的重要环节，也是计算最复杂的过程，而适宜度的计算是建立在所选择的影响因子基础上的。如果用更少的指标可以得到相同的决策结果，那么不仅会大大简化计算，同时加深了人们对于决策问题的内在意义和结构的认识。因此，在计算前，应根据实际情况进行裁剪。裁剪是为了避免由于因子过多，因子中“噪声”积累过大导致最后结果误差变大。不同城市所处的地理位置和社会经济环境不同，本身的城市功能结构、性质规模、发展的目标不同，那么城市用地的扩展方式、强度和用地结构也是不同的，其发展的影响因素也会有所侧重，即使是同一城市在不同历史时期，某种或某几种因素的作用强度也互不相同，从而产生了不同的城市外部形态与城市空间扩展模式。因此，我们要结合具体情况具体分析、设定城市空间扩展的主要影响因素，为城市发展选择合理、有效的发展模式。

2. 影响因子的参数设定

城市空间生长，其自然性体现在不同个体的选择不同上。即不同的人、不同的行业对用地的选择都不同，同样，不同类别个体对用地的选择要求也有很大区别。分析用地发展方向的同时，把不同类型用地的使用要求考虑进去，同时考虑不同用地之间的相互关系，对分析城市增长具有重要意义。

在影响因子确定下来后，因子对不同类别的作用大小会不相同，作用力大小区别要通过参数的设定表达出来，主要包括缓冲区距离的区分或权值大小来设定。它主要表现在以下两方面。

1)城市特征要素的参数设定

城市特征要素主要表现为城市空间生长的向心力和离心力，它可为点要素或

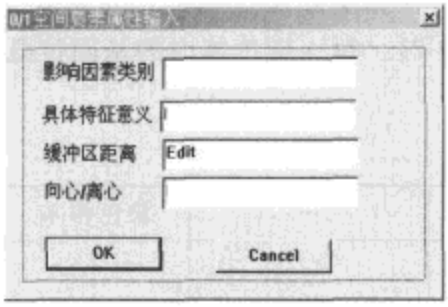


图 9-9 城市特征要素的参数设定

线要素。可通过对话框(如图 9-9 所示)输入相关信息,生成特征要素参数表(见表 9-3),构成量化计算的基础。

影响因素类别可按实际情况确定,如商业中心、工业项目、污染源等。相关特性可以为级别或规模等,根据其可确定相应缓冲区大小。某一类别可输入多个空间要素,如商业中心可以有多个,它们可能具有不同的规模和辐射范围。

表 9-3 空间特征要素表

要素 ID	类别	相关特性	权重	针对居住用地缓冲区 B_r	针对工业用地缓冲区 B_m
L 2	商业中心	二级	p^2	1 000	
L 3	商业中心	一级	p^3	1 500	
…	…	…	…	…	…
Ln	交通	货车站	p^n		1 000
…	…	…	…	…	…

2)分布式因子层参数设定

分布式因子层参数设定主要包括地块缓冲区设定、叠加图层设定、参与计算的属性项设定、权重设定等,如图 9-10 所示。

地块可以对其范围内的某种属性进行计算,也可以对其周围一定缓冲区范围内的某种属性进行计算,当没有缓冲区时,其缓冲区设为 0。对于叠加图层选择,既可以选择其他因子图层,也可选择地块图层自身,最后形成因子层参数表(见表 9-4)。

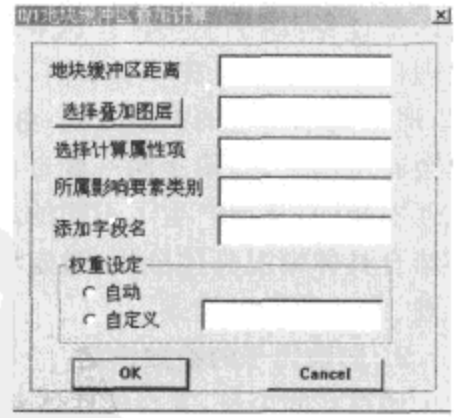


图 9-10 分布式因子层参数设定

表 9-4 分布式因子层参数表

空间分布因子层	地块缓冲区距离	选择属性项	权重	添加字段名设定
地基	d_1	等级	p^1	…
河源水面	d_2	面积	p^2	…
道路	d_3	面积	p^3	…
…	…	…	…	…

其中，因子层的可能选择属性字段一般如下。

(1)地基层：适宜建设等级。

(2)河、湖水面因子层：面积、类型(湖、江)。

(3)道路交通因子层：面积、长度。

3. 单个染色体的适应值计算

1)合力计算

确定染色体和主要影响因子后。针对每个个体或每一种发展方案，对应于其中的每一个地块，都会有一个相应的发展适应值(见表 9-5)，再根据不同影响因子的权重 p_j^i，计算最后合力大小 f_t，即

$$f_t = \frac{\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{m} Q_j^i p_j^i}{N} \tag{9-1}$$

式中，N 为地块数。

表 9-5　因子作用力计算结果

地块 ID	代码	工业因子(Q^1)	商业因子(Q^2)	…	水环境因子(Q^m)
1	1	0.1	0	…	0
2	0	0	0.6	…	0.1
…	…	…	…	…	…

2)总增长面积限制

对所有代码为非 0 的地块面积求和，计算公式为

$$S = \sum_{i=1}^{r} S^i \tag{9-2}$$

式中，S^i 为选为建设用地的地块面积。

设限定增长面积为 A，M 为一设定常数，由上面已求的 S，则可获得由总增长用地面积限制计算的惩罚函数为

$$f_a = \begin{cases} 1, & \text{若 } |S-A| < M \\ \dfrac{M}{|S-A|}, & \text{其他} \end{cases} \tag{9-3}$$

3)各类用地面积比例限制

对某一类用地，设其用地比例限制范围为 $t_1 \sim t_2$，首先设 $p = S_c / S_{总}$，S_c 为某类用地面积和，$S_{总}$ 为总建设用地面积和，则其适宜性的隶属函数可表现为

$$f_c^i = \begin{cases} 1, & \text{若 } t_1 < p < t_2 \\ 1 - \dfrac{p - t_2}{1 - t_2}, & \text{若 } t_2 \leqslant p \leqslant 1 \\ 1 - \dfrac{t_1 - p}{t_1}, & \text{若 } 0 < p < t_1 \end{cases} \tag{9-4}$$

由以上公式，把各类用地面积比例限制转为参与适应值计算的惩罚函数，并获得最后值为

$$f_c = \frac{\sum_{i=1}^{m} f_c^i}{m} \tag{9-5}$$

式中，m 为用地类别数。

4）最后结果

依据以上获得的合力 f_t、惩罚函数值 f_a、隶属函数值 f_c，以及相对于 f_t、f_a、f_c 的设定权重 p_t、p_a、p_c（见表 9-6），计算最后适应值 f，即

$$f = f_t \cdot p_t + f_a \cdot p_a + f_c \cdot p_c \tag{9-6}$$

表 9-6 权重设定

说明	性质	权重
作用合力	f_t	p_t
总面积限制	f_a	p_a
各类用地比例限制	f_c	p_c

9.2.4 获取满意解及可视化

1. 遗传操作

逐一计算已随机初始化种群的 N 个个体的适应度函数，第一代也即初始代的适应值就产生了。为了产生下一代，依据适应值进行个体选择，父代要求基因重组（交叉）而产生子代。所有子代按一定概率变异，然后子代被插入到种群中将父代取而代之，构成新的一代，子代的适应度又被重新计算。以上过程循环执行，直到满足优化准则为止，获得最后一代种群，包括多个满意解。

2. 结果可视化

当选定最后满意解后，可通过 GIS 把满意解对应的城市用地空间形态表现出来。在此，满意解体现了适宜值较高的城市空间发展方案。通过模型系统的可视化功能，完善了城市空间生长表现过程，为城市规划方案制订提供了更有力的决策支持。

第 10 章　基于 UG-GA 模型的城市空间生长分析——以武汉市为例

§10.1　基于 UG-GA 模型的分析方法

10.1.1　应用方向

1. 城市空间生长评价分析

参照城市发展历史，模拟历史上不同时期的城市发展条件和发展环境，并在此基础上通过模型运算，获得城市发展的可能空间形式，与城市空间生长的实际情况相比较，分析在城市空间生长过程中对城市用地布局起决定作用的主要因素及这些因素的作用强度。

2. 城市空间生长预测

根据现有的可能约束条件及现在的城市发展特点，设定城市发展的作用因子和参数，预测城市空间发展的可能情况，并且可以根据城市发展需求目标的不同，获得多种可能的城市空间生长预测结果。

10.1.2　作用力及相关因子分析

1. 单一要素作用下的城市空间生长状况分析

选择单一影响因素模拟城市空间生长过程，观察单一作用因素下的城市空间生长形态。一般情况下，城市空间生长作用因素不可能为单一因素，因此，单一作用因素下的城市空间生长形态一般会与实际形态有较大的差别，但是作用强度大的影响因素会勾画出城市空间生长的主要轮廓和方向。

2. 多因子综合作用下的城市空间生长状况分析

城市空间生长是多因素综合作用的结果，为了更准确地反映城市空间生长过程，应提供多个作用因子和参数。可逐渐增加作用因子，观察由模型获取的城市空间生长结果是否逐步接近于城市实际发展情况，为城市空间生长预测提供实验依据。

城市增长受很多因素影响，在本书实验中仅考虑主要影响因素，包括原有城市基础对城市空间增长的影响、城市工业项目建设对城市空间增长的影响、城市交通轴发展对城市空间增长的影响，以及河湖分布等环境要素对城市空间增长的影响等。无论哪一种，都受城市用地组合优化因素的影响，如促进社会和经济效益产生

的集聚作用因素、相邻适宜性作用因素等。其中，集聚发展是城市发展的自然形式，是融会在任何作用因素中的不能忽视的作用因子。城市空间生长的组合优化作用因素具有动态性、自然性和主动性，它具有使城市用地非固定、自然、自主发展的特点。

10.1.3 影响要素的作用程度分析

由于不同历史时期的空间增长作用因素的作用程度不同，会对空间增长产生不同的影响。为了描述不同时期城市空间增长的差异性，需要表现不同因素的作用程度，可通过权值来控制作用因子的大小，反映出影响因子作用强度的差异性。

§10.2 武汉市城市空间生长模拟

10.2.1 1949—1965年城市空间生长分析

1. 城市发展条件分析

新中国成立初期，随着国民经济的恢复，城市的工业、人口都有了一定的发展。在这一时期开展了系统的城市规划，“一五”期间开始编制《武汉市城市规划草图》。进入第二个五年计划时期，城市有了较大的发展，为配合国家重点工程项目，1954年编制了《武汉市城市总体规划》。1956年初，根据政府要求，基于1954年总体规划的实施情况编制了《武汉市城市建设十二年规划方案》，从而进一步提出了城市的发展方向。后因国家重点工程项目继续增加，在大跃进的形势下，武汉市提出工业项目200项，大大突破了1956年的规划用地，1959年又编制了《武汉市城市建设规划(修正方案)》。

新中国成立后，在工业建设布局上，武汉市按“大分散小集中”的原则在武汉三镇分区成片建设不同性质的工业区。“一五”开始后，为安排武钢、武重、武锅及肉联等重大工业项目建设，先后开辟了以武钢为主的青山工业区、以武重为主的中北路(答王庙)工业区、以武锅为主的石牌岭工业区、以制材厂等建材工业为主的白沙洲工业区，在汉口开辟了以肉联为主的堤角工业区、以武汉制药厂等轻化工业为主的易家墩工业区，在汉阳开辟了以市水泵厂等地方机械工业为主的庙山工业区。“二五”期间，在“中央工业与地方工业、大中小工业同时并举”的方针下，又按《武汉市城市建设规划》陆续开辟以机电工业为主的关山工业区，以纺织、机械工业为主的余家头工业区，以地方轻工、机械工业为主的七里庙、唐家墩工业区，以建材、机械工业为主的鹦鹉洲工业区(如图10-1所示)。同时青山工业区用地向武东地区发展，唐家墩工业区扩至姑嫂树，堤角工业区跨朱家河向谌家矶延伸。

同时，为逐步提高人民生活水平，合理调整三镇城市布局，修建了一些重大的

城市基础设施和公共建筑等工程项目，使长江两岸各项城市设施相对独立，形成分区成片建设的城市规划格局。20 世纪 50 年代扩建了沿江沿河道路，改建了中山大道，新建了解放大道，配合江汉一桥修建了武胜路、利济北路，同时改造和新建了硚口路、友谊路、民意一路、三阳路、大兴路等（如图 10-1 所示）。汉阳地区 50 年代配合江汉桥与长江大桥的建设、工业及港区的发展和沿江防水墙的兴建等，修建了沿江沿河路、鹦鹉大道、汉阳大道和钟家村广场。为配合武钢及其以后的一米七轧机工程的建设，在整个青山区按城市规划修建了规模巨大的道路、给排水、电力电信系统和整套的公共建筑工程。与此同时，修建了万里长江第一座公铁两用长江大桥及江汉桥，使“天堑变通途”，结束了武汉有史以来三镇陆上交通受江河分割的局面。



图 10-1　1949—1965 年用地发展条件

2. 基于 UG-GA 模型的城市空间生长模拟

在城市规划指导及工业基地和基础设施建设的引导下，从 1949 年到 1965 年，城市规模逐渐增大，城市空间逐渐扩展，基于以上所阐述的城市发展条件和背景，利用 UG-GA 模型进行如下分析。必须表明的是，在此所给的城市空间生长模拟结果只是城市空间发展可能出现的一种方案，这种方案是一定城市发展条件下的众多满意解中的一个。由于城市发展在逐渐进化过程中表现出的建设行为个体或基因变化的随机性和不确定性，使城市在发展过程中，虽然不断进化，获得满意解

值，但是城市空间发展形态的表现形式却千差万别，这也符合自然进化过程。

1）基于原有城市基础的城市空间生长

1949年，新中国成立初期，武汉市城市用地约37 km^2，城市人口约94万，到1965年，城市人口和用地都有大幅度增加，人口增至200多万，城市用地增加到120 km^2左右，在这一点上，政府的外力作用是不可忽视的。政府站在全局的角度干预城市建设，城市发展的实施者站在自身的角度把城市建设付诸于实践，一个是体现出城市发展的强大外力，一个是蕴涵着城市自发发展的基本内力。在没有政策干预时，城市会在内力作用下自发地发展，在此，这种内力就体现在人们对已形成城市基础的依赖和集聚发展的原动力上。假设只考虑1949年城市建设基础，不考虑其他外力作用，通过UG-GA模型可获得符合1965年用地规模的一种可能城市发展形态（如图10-2所示）。可以看出，在此种情况下，城市主要是沿老城区向外连续性的蔓延发展。



图10-2 UG-GA模型模拟的基于原有城市基础的城市空间增长

2）工业发展作用下的城市空间生长形态

虽然城市发展的内力贯穿城市发展始终，影响着城市发展的空间形态，但是外力的作用往往更明显。从1949年到1965年，武汉市城市人口的年均增长率超过6%，如果没有外力的作用，人口数量和城市建设用地不可能增长如此之快。这主要是新中国成立初期的“一五”“二五”时期，国家重点投资了许多规模巨大的现代化工厂，开发了大片的工业用地，如以上提到的武钢、武重、武锅、武船等，极大地促进了城市建设的发展。由于这些重点企业远离旧城进

行建设，形成相对分散的空间布局，再加上为这些大型企业配套建设了许多相应规模的居住区，如先后修建武钢街坊、武重宿舍、武锅宿舍、建桥新村、建港新村、武昌工人新村等，使这些由工业项目形成的向外分散的“飞地”成为城市空间扩展的重要生长点。在工业生长点的作用下，使武汉在城市空间结构上打破了特定的模式。在此，利用 UG-GA 模型，模拟出增加工业发展影响因素的一种城市空间可能发展形态（如图 10-3 所示）。可以看出，在空间发展要素影响下，城市空间不再沿旧城市区连续性蔓延发展，而是在几个主要工业基地周围集聚发展。



图 10-3　UG-GA 模型模拟的基于工业发展基础的城市空间增长

3）增加交通影响因素的综合因素作用下城市空间生长形态

交通技术的发展对近现代城市地域结构的演变的影响是极为重要的，甚至有时起着决定性的作用，虽然交通发展并不是引起城市地域结构演变的唯一因素，但是它往往标志着城市地域结构发展到一个新的阶段。在武汉市城市空间发展上，交通发展条件也是一个影响城市空间发展形态的重要因素。从 1949 年到 1965 年，汉口地区主要就是以旧城为依托，在解放大道沿线向两侧扩展和两端延伸，向内侧填充解放大道与旧京广线之间的空隙，向外侧蔓延发展；而汉阳地区则是在旧城与汉阳大道、拦河堤间相对紧凑的填充发展；武昌地区从旧城出发，向东沿武珞路、民主路轴线推进。在此增加交通发展影响

因素，通过模型获得如图 10-4(b)所示的一种可能城市空间发展形态。可以看出，由于交通轴的引力作用，城市用地会向主要交通轴靠拢，并在其周围集聚，我们可以把它与城市实际发展情况相比较，表现出在影响要素逐渐全面时，其整体发展形态也越来越接近实际发展情况，如图 10-4(a)所示。但是它只能在发展趋势上与实际情况相近，并不能完全符合，导致这种情况的原因很多，主要体现在两个方面。一方面是由于所考虑的因素有限，不可能针对所有个体给出所有的影响要素，同时还存在着某些个体的不可确定的突变，所以实验结果难以与实际情况完全一致。另一方面，就是考虑了所有因素，根据城市自身发展规律表明，在同样满意的城市发展状态下，其表现形式可能多种多样，但是所产生的社会、经济效益却不会有很大区别。所以 UG-GA 模型反映出了城市发展的强大外力，在趋势上与实际情况相近，但是在细部的用地组合上会有区别。



(a) 1949—1965年用地发展情况　　(b) 综合因素作用下城市用地发展情况模拟

图 10-4　UG-GA 模型模拟结果与城市实际发展情况比较

10.2.2　1965—1985 年城市空间生长分析

1. 城市发展条件分析

“大跃进”后到“文革”期间，城市规划被削弱，1959 年编制的《武汉市城市建设规划(修正方案)》经市委审查同意后，延至 1979 年的 20 年间，武汉市城市建设总体规划虽曾多次试图编制一定时限的城市建设总体规划修订方案，但直到 1979 年才编制了《武汉市城市总体规划》，并于 1979 年中向市委、市政府汇报。1982 年 6 月5 日国务院以[82]国函字 93 号文复函湖北省人民政府批准武汉市城市总体规划，从此武汉市城市总体规划在新中国成立后第一次得到国家的正式批准，使城市各项建设必须按照城市总体规划来实施有了依据。

这期间，工业发展仍以易家墩、唐家墩、堤角、白沙洲、石牌岭、中北路、余家头、青山、关山、鹦鹉洲、庙山、七里庙等 12 个工业区为主(如图 10-5 所示)。同时，国家一米七轧机工程在武钢兴建，青山石油化工厂也开始建设。此后，随着地方区、街工业的不断发展，在旧城边缘和近郊又陆续形成一些工业比较集中的工业点，如汉口黑泥湖、阳逻墩，武昌的武泰闸、万福林、徐家棚、南湖周家湾等。



图 10-5　1965—1985 年用地发展条件

在规划道路系统实施上，汉口于 20 世纪 60 年代开辟了黄浦路、古田一至五路、汉西路、宝丰路、崇仁路，扩建了解放公园路、二七路、球场路、万松园路及自治街、民主街、工农兵路等，70 年代配合江汉二桥开辟了建一街，扩建了解放大道上段及汉西路等，汉阳又继江汉二桥建设了十升路。而武昌随着青山、中北路、石牌岭、关山、余家头、白沙洲等 6 大工业区的开辟和周围高校用地的逐渐发展，修建了武珞路、珞瑜路、中南路、中北路、和平大道、徐东路等主要干道(如图 10-5所示)。

2. 基于 UG-GA 模型的城市空间生长模拟

1)基于原有城市基础的城市空间生长

由于“大跃进”的负面影响和“文革”错误，城市规划和城市建设进入较长时间的低谷。1965 年，城市建设用地面积约 128 km^2，到了 1985 年城市建设用地面积只约为 190 km^2。这一时期，用地布局没有大的突破，基本上是在前一时期跨越式发展的基础上沿老城市区向外发展，青山组团因武钢配套工业项目和居住区建设，

继续扩大，并沿和平大道向南推进，与武昌主城的间隙在缩小。在此，通过UG-GA模型获得如图 10-6 所示的一种可能城市空间扩展形态，表明在此期间，城市发展主要趋势之一是在原有城市基础和原有工业发展基础上自发地向外蔓延并集聚发展。



图 10-6 UG-GA 模型模拟的基于原有城市基础的城市空间增长

2）增加交通影响因素的综合因素作用下城市空间生长形态

“文革”前后的 20 年，工业建设发展缓慢，三镇空间增长更多地表现为围绕主城和新的组团并依托主要交通轴发展，包括沿原已形成的交通轴发展，在其两边继续充实，以及沿新的交通轴向外扩展。有些轴线之间由于距离较近已连成一片，有些轴线之间则由于相隔较远，在两轴线之间留下大片空地。汉口地区沿解放大道两端向外继续推进发展，沿江地带形成更狭长的城市建成区，同时，沿新修的汉西路、青年路、三眼桥路、黄埔路向北纵深发展。汉阳地区也是以主城为基础，沿鹦鹉大道向南发展，同时沿汉阳大道向西发展，使汉阳地区呈现 L 形的发展形态。武昌地区向东沿武珞路—珞瑜路大幅度推进发展，在关山以关山一路为轴线向南发展，同时沿路两侧形成集中的科研教育园区，向南沿武咸公路向白沙洲工业区方向发展，向北沿中南路—中北路围绕武重周围发展，并继续沿和平大道在武昌旧城和青山之间沿江发展。由于在此期间城市规模变化不大，两种条件下的城市空间生长模拟从整体上看区别也不是非常大，但局部仍能看出交通轴对城市空间发展的影响。在此，通过 UG-GA 模型获得如图 10-7(b)所示的一种可能城市空间生长形态。



(a) 1965—1985年用地发展情况　　(b) 综合因素作用下城市用地发展情况模拟

图 10-7　UG-GA 模型模拟结果与城市实际发展情况比较

10.2.3　1985—2000 年城市空间生长分析

1. 城市发展条件分析

改革开放后，城市建设从以工业建设为重心转移到基础设施和居住区建设上来。1979 年编制的《武汉市城市总体规划》于 1982 年报经国务院审批同意并开始实施，1988 年又编制了《武汉市城市总体规划修订方案》，加强了城市规划对城市建设的指导和引导作用。1993—1995 年完成的新一轮《武汉市总体规划修编(1996—2020)》，于 1999 年获国务院批准。

1988 年城市总体规划修订方案进一步明确工业区规划建设方向，除对基本形成规模的原规划的 12 个工业区，要进行配套和按工业区规划的性质进行调整建设外，将汉阳的郭徐岭规划为以汽车工业为主的武汉近郊工业区，安排中法合资生产规模为年产 30 万辆的神龙汽车公司在此工业区设厂建设。1992 年武汉轿车产业开发区更名为“武汉经济技术开发区”，1993 年 4 月 4 日国务院正式下文批准，开发区以轿车产业为主体，同时大力发展高新技术产业和贸易、信息、金融等第三产业，成为武汉市对外开放的重要窗口、出口创汇的基地和工商业发展的新城区。同时，1984 年在中央批准的《武汉市经济体制综合改革试点实施方案》中，提出“将大专院校科研单位集中的东湖地区办成科研、教育、经济相结合的知识技术密集小区”，1988 年提出关山工业区扩大到南湖东南岸作为新兴高科技工业发展用地，并开发建设关东、关南工业园，后于 1991 年 3 月国务院正式批准东湖新技术开发区为国家高新技术产业开发区。在此，武汉市沌口开发区、东湖开发区的成立和发展成为新的跳跃式发展的动力，为城市发展提供了新的经济增长点(如图 10-8 所示)。



图 10-8　1985—2000 年用地发展条件

在道路系统建设上，建成了建设大道直通江汉二桥，新建了建设大道、发展大道、青年大道、江汉北路、三阳北路、台北路、黄孝河路等城市干道。至此，汉口地区平行江河的主要干道基本形成(如图 10-8 所示)。汉阳大道和鹦鹉大道的大部，按规划的标准横断面全部建成。另外在基础设施建设上，具有重要意义的有天河机场、汉口新客运港、汉口新火车站等陆续建成，长江二桥于 1995 年建成通车，环绕三镇的内环线开始形成。

2. 基于 UG-GA 模型的城市空间生长模拟

1)开发区建设及原有城市基础影响下的城市空间发展形态

1985 年，城市建设用地面积约 190 km^2，到了 2000 年，城区建设范围内的面积约为 300 km^2，城区内的间隙几乎被填满。20 世纪 80 年代以后，工业区建设基本上在原有 12 个工业区基础上进一步充实，武重、武锅等一大批老的国有企业开始萎缩，在白沙洲、关山、余家头、青山工业区周围有少量的扩展，重点也放在居住区建设上。90 年代市场经济逐渐成熟，房地产热为这一时期的发展注入了活力，居住区建设开始走向多样化，配合青山工业区修建了钢花居住组团，配合中北路工业区修建了东亭居住组团，配合易家墩工业区和七里庙工业区修建了二桥居住组团，

以及南湖机场搬迁后开发了规模较大的南湖花园居住区。城市发展更为明显的是，武汉东湖新技术开发区关东、关南 5 km^2 大的两个科技工业园的成立促进了城市向东的大发展，在关山地区形成以关东、关南工业园为主的东湖开发区，并形成了以珞瑜路为轴线的科技一条街。距武汉市城区边界 3 km 远、面积 8 km^2 的沌口经济技术开发区以年产 30 万辆的神龙汽车公司为主，吸引和集聚了大批三资企业，配建了大量生活居住设施，形成远离主城的规模巨大的飞地和综合组团。在此，利用 UG-GA 模型，获得如图 10-9 所示的一种可能城市空间生长形态，它主要体现了城市的连续外延发展及在开发区位置的飞跃式发展。



图 10-9　UG-GA 模型模拟的工业项目建设对城市空间增长形态的影响

2）增加交通影响因素的综合因素作用下城市空间生长形态

在此阶段，空间增长上轴向推进仍在继续。在汉口，沿发展大道、解放大道（古田段）、姑嫂树路轴向发展，并安排工业建设项目；以常青路、姑嫂树路组成轴向发展走廊，向北连片发展并跨越张公堤开发形成规模巨大的常青花园及将军花园。汉阳空间增长除沿新修建道路轴线推进发展外，主要以汉阳大道为轴线继续向西发展，龙阳大道成为新的发展轴线，沿线两侧开始零星的发展。武昌旧城联系关山地区的武珞路—珞瑜路和雄楚大街形成自西向东的发展走廊，在其内部和两侧迅速生长。同时在北部，以徐东路—和平大道—冶金街为轴线发展，分别由南、由北向中间推进，开始填满青山组团与武昌旧城之间的空隙。

除向外延伸的发展轴，与其相垂直的市内交通轴促进了轴间用地的填实，实质上促进了用地的向外蔓延。其中，京汉铁路外移及北侧建设大道、发展大道、青年大道的修建，使城市得以大规模向北发展，建设大道与解放大道之间的有限空地很快被填满，建设大道与发展大道之间为疏解旧城人口先后统一组织修建了大片居住区，形成鄂城墩、北湖、花桥等规模巨大的居住组团，发展大道向外迅速填满了与

新京广铁路线之间的狭窄空隙。由于社会经济发展，城市发展影响因素越来越复杂，综合作用因素越来越明显，但是仍能在城市发展过程中发现单一因素作用的痕迹。在此，利用 UG-GA 模型模拟增加交通因素后的一种可能城市空间发展形态，如图 10-10(b)所示。



(a) 1985—2000年用地发展情况　　(b) 综合因素作用下城市用地发展情况模拟

图 10-10　UG-GA 模型模拟结果与城市实际发展情况比较

10.2.4　武汉市城市空间生长主要影响因素分析

武汉市城市扩展受多种自然、社会经济条件的制约，在不同发展时期，以某一种或几种影响因素为主，最终是多因素综合作用的结果。具体地说，武汉市城市空间生长主要受以下因素影响。

1. 城市地理因素

武汉市具有得天独厚的通江达海的区位优势，下游地区地处太平洋西岸，长江流域干流横贯东西，也是我国重要物资与工业布局重要的黄金水道，是沟通我国东、中、西三大地区的运输大动脉，构成了我国内河水运与铁路运输网的工业与城镇集聚的发达区域，并且长江流域的水资源、能源极为丰富，为武汉市城市建设、工业布局提供了动力和潜在的优越条件，也为城市现代化提供了雄厚的基础，应该说，武汉市的最初建立是源于优越的地理条件，其发展又得利于优越的地理条件。

2. 城市集聚因素

新扩展的城市用地常毗连原有城区，并与原城区趋于连绵成片发展，以利用原有城市基础设施、技术信息等资源。这种环状团块式蔓延扩展是表现最普通的城市扩展方式。武汉市城市用地增长过程中，也出现了大量的城市用地临近原城市、用地没有方向性、近似均匀地向四周蔓延扩展方式。

3. 城市工业因素

城市工业活动是武汉城市发展的主导因素，工业大发展是武汉市城市用地增

长的主要驱动因子，最直接原因就是工业开发区的大片兴建。它在宏观上决定了城市用地的扩张速度，在微观上决定了城市用地的结构形态。工业用地向外伸展，带动居住用地和仓库、交通设施向外扩张。武汉市就是通过重化工、钢铁机械、汽车及高新技术等工业发展，带动了武汉市的整体发展，并在空间上影响着武汉市的整体发展形态。

4. 城市交通因素

在武汉市城市空间生长上，城市要素沿主要道路呈现轴向扩展。一方面表现在沿轴线向外扩张，使城市空间增长呈“指状”发展形态，也就是城市建设常沿城市内部道路或对外交通干线进行连续或跳跃式的布局，形成新的工业区、居住区、商业区或卫星城镇。另一方面表现在促进了与扩张轴线垂直的交通轴线两侧空隙用地的填实。

5. 城市生态因素

20 世纪 90 年代后环境因素在居住用地选择中的作用越来越大，随着城市的发展和城市人口规模的逐渐增加，城市住宅紧张，旧城区居住拥挤，危坏房多，加上不按规划插空建房，使旧城居住环境难以得到应有的改善。于是有些人逐渐不再看重城市市区的稀有但却狭窄的空间，开始选择住房宽敞、空间开阔、与自然和人文环境更贴近的城市近郊区，如湖边和高校附近。这也是近年来武汉市城市居住用地向外扩展的原因之一。

在以上因素综合作用下，武汉市发展形态具有一定特点。即一些新城市建设项目跳跃式布局，形成新的工业区，然后在城市核心区与外围的“飞地”之间，呈现出相吸的趋势；城市核心区与外围的“飞地”之间的交通线两侧区域被城市要素逐渐渗透填充，或城市要素沿着城市道路、对外交通高等级公路、水运航道等跳跃式或楔型扩散发展；在新建成区与原城市核心区之间存在的空隙，随着城市的发展，又逐步填充。

§10.3　结　论

量化方法和数学模型在城市规划中的应用历来受广大规划师和管理者的关注，但是，能精确地量化表现城市规划和管理中大量复杂的、不确定的、种类繁多的、为多种需求服务的城市要素及它们的合理组织是很困难的。在城市空间增长量化分析中，合适的量化方法是什么？给出唯一确定的答案并不现实。本书中的 UG-GA模型设计主要以城市规划理论为基础，以辅助城市规划方案制作为目标，把 GIS 空间分析方法与数据模型有机结合起来。为了支持模型的实现，本书对城市空间生长理论、空间操作分析方法、城市规划中的 GIS 应用体系、模型建立的理论、技术支持等都做了大量的探讨、总结和分析，使 UG-GA 模型建立在坚实的理

论和实践基础之上，其量化过程和结果验证了城市发展规律。

但无论如何，UG-GA 模型设计是在一种理想的状态下进行的，不可能完全模拟复杂的城市空间生长过程。并且 UG-GA 模型设计和实现过程涉及城市规划及城市空间生长相关理论、GIS 理论和技术、遗传算法理论和技术、系统工程及相关数据方法、计算机操作技术等诸多领域和多学科，是一个多技术的集成系统。因此，UG-GA 模型的建立是一个较大的系统工程，仍有待于进一步的完善和发展。因此，在以后的研究中，我们可以从以下几个方面入手：

(1)城市空间生长的量化过程主要是基于对城市基础资料调查后数据的归纳和处理，虽然其量化是基于客观存在的，但是量化过程仍带有模糊性和主观性，这会影响到实验结果的可靠性和精确性。或者说，应该建立模型量化精度的评价系统，找出模型量化精度的评价方法，才能更好地发挥模型效用。

(2)由于城市空间生长的复杂性，不同城市的空间增长需要在模型中容纳不同的组成要素和影响因子。因此，可以对不同对象从理论上加以分门别类和总结，将指标体系结合具体研究对象进行系统化研究，这样更有利于提高模型的应用效果。

(3)模型实现需要大量的数据支持，数据的充分与否将会影响到量化的准确性和精确度，通过更充足的数据准备，可以对发展适宜性进行更精确的量化。

(4)加强模型、方法库的建设与管理，与 GIS 系统集成为空间决策支持系统，以提高决策的自动化和智能化程度，尤其是充分发挥数据挖掘方法的作用，有助于提高对城市空间模式的认知。

(5)利用遗传算法就是为了在大量的组合中寻找最优解，但是遗传算法的模式欺骗性是基于二进制编码的遗传算法设计必须考虑的一个问题。多年来很多专家一直在探索如何有效地克服遗传算法欺骗性，但这类问题是遗传算法的困难所在。在本模型中，也面临着相似的问题。尽管有各种新策略和新提案不断地被提出，但它们几乎都是针对特定问题求解而言的，在本模型中并不适用。如何避免 UG-GA 模型中的早熟和欺骗性问题也是有待于进一步研究的课题。将来可采用与神经网络、模拟退火或专家系统等其他方法相结合的策略，因为同时考虑收敛速度和解的品质两个指标时，单纯的遗传算法未必比其他搜索方法更优越。而研究表明，采用混合模型可有效提高遗传算法的局部搜索能力，从而进一步改善其收敛速度和解的品质，提高运算效率。

参 考 文 献

奥沙利文. 2003. 城市经济学[M]. 北京：中信出版社.

陈秉钊. 1991. 城市规划系统工程学[M]. 上海：同济大学出版社.

陈国良，王煦法，庄镇泉，等. 1996. 遗传算法及其应用[M]. 北京：人民邮电出版社.

陈述彭. 1999. 城市化与城市地理信息系统[M]. 北京：科学出版社.

程建权，兰运超，杨仁. 1999. 基于 GIS 的城镇发展布局优化方法研究[J]. 武汉城市建设学院学报，16(1)：17-22.

董春，张清浦，张家庆，等. 2000. 地理因子库的建立及应用探讨[J]. 遥感信息(1)：12-16.

杜忠潮. 2001. 咸阳市区城市地价与城市空间扩展探析[J]. 咸阳师范专科学校学报，16(1)：69-75.

范今朝，汪波. 2001. 运河(杭州段)功能的历史变迁及其对杭州城市发展的作用[J]. 浙江大学学报：理学版，28(5)：583-590.

洪家荣，丁明峰，李星原，等. 1995. 一种新的决策树归纳学习算法[J]. 计算机学报(6)：470-474.

霍尔 P. 1985. 城市和区域规划[M]. 邹德慈，金经元，译. 北京：中国建筑工业出版社.

姜巍，高卫东. 2003. 居住空间分异：乌鲁木齐市在发展中面临的严峻问题[J]. 干旱区资源与环境，17(4)：43-47.

姜友华，王新生. 2002. 遗传算法用于产生可供选择的城市规划方案[J]. 武汉大学学报：工学版，35(3)：63-66.

蒋云良. 2000. 城市地下管线管理信息系统[J]. 计算机应用，20(2)：65-66.

金闻多，李王鸣，班茂盛. 2001. 城市开发区企业集聚机制分析[J]. 浙江经济(4)：41-42.

康耀红. 1986. 广义情报检索理论体系[J]. 情报科学，5(6)：1-23.

李德仁，龚健雅，边馥苓. 1993. 地理信息系统导论[M]. 北京：测绘出版社.

李德仁，关泽群. 2000. 空间信息系统的集成与实现[M]. 武汉：武汉测绘科技大学出版社.

李德仁，王树良，李德毅，等. 2002. 论空间数据挖掘和知识发现的理论与方法[J]. 武汉大学学报：信息科学版，27(3)：221-233.

李敏强，寇纪淞，林丹，等. 2002. 遗传算法的基本理论与应用[M]. 北京：科学出版社.

刘盛和. 2002. 城市土地利用扩展的空间模式与动力机制[J]. 地理科学进展，21(1)：43-50.

罗年学. 2002. 时空对象模型及其在地籍信息系统中的应用研究[D]. 武汉：武汉大学.

马正林. 1998. 中国城市历史地理[M]. 济南：山东教育出版社.

彭晓春，陈新庚，李明光，等. 2002. 城市生长管理与城市生态规划[J]. 资源与环境，12(4)：24-27.

钱昆润，芦金锋. 1999. 房地产经济学[M]. 北京：中国计划出版社.

宋小冬，叶嘉安. 1995. 地理信息系统及其在城市规划与管理中的应用[M]. 北京：科学出版社.

谭纵波. 2005. 城市规划[M]. 北京：清华大学出版社.

陶小马，王蕾. 2003. 论城市信息化对市民居住选址的影响[J]. 城市规划汇刊(3)：16-23.

同济大学. 1991. 城市规划原理[M]. 北京：中国建筑工业出版社.

王晶. 2001. 城市经济结构的空间演变与城市财政[J]. 现代财经，21(10)：12-16.

王小平，曹立明. 2002. 遗传算法：理论、应用与软件实现[M]. 西安：西安交通大学出版社.

武汉市城市规划管理局. 1996. 武汉市城市规划志[M]. 武汉：武汉出版社.

吴信才，刘少雄. 2002. 基于邻接关系的空间数据挖掘[J]. 计算机工程，28(7)：89-91.

席一凡，杨茂盛，尚耀华. 2001. 遗传算法在城市土地功能配置规划中的应用[J]. 西北建筑工程学院学报：自然科学版，18(4)：190-194.

谢士杰. 2000. 基于 Intranet 的城市规划管理信息系统的研究[J]. 测绘通报(9)：15-17.

修文群，池天河. 1999. 城市地理信息系统[M]. 北京：希望电子出版社.

徐康宁. 2003. 文明与繁荣[M]. 南京：东南大学出版社.

徐科峰，李东泉，韩同欣. 2003. 开发高科技产业城区，构建大青岛空间格局[J]. 城市规划，27(7)：26-29.

徐铭杰，李俊民，赵永江. 2003. 基于空间数据仓库的空间数据挖掘研究[J]. 中原工学院学报，13(1)：26-29.

阳建强，吴明伟. 1999. 现代城市更新[M]. 南京：东南大学出版社.

杨荣南，张雪莲. 1997. 城市空间扩展的动力机制与模式研究[J]. 地域研究与开发，16(2)：1-5.

杨山，汤君友. 2003. 无锡市空间扩展的生态环境质量综合评价研究[J]. 资源与环境，13(1)：65-69.

杨万钟. 1999. 经济地理学导论[M]. 上海：华东师范大学出版社.

姚士谋，帅江平. 1995. 城市用地与城市生长：以东南沿海城市扩展为例[M]. 合肥：中国科学技术大学出版社.

于卓，吴志华. 2002. 信息技术在城市规划管理中的应用体系研究[J]. 武汉大学学报：工学版，35(5)：47-50.

于卓，吴志华. 2004. 数字城市规划的空间数据基础探讨[J]. 测绘信息与工程，29(1)：28-29.

张文修，梁怡. 2000. 遗传算法的数学基础[M]. 西安：西安交通大学出版社.

赵晨. 1997. 城市发展的空间竞争机制[J]. 新建筑(1)，1-3.

赵黎明. 2002. 城市创新系统[M]. 天津：天津大学出版社.

周兴汉，潘文裕，王作涪. 1998. GIS 在城市规划管理中的应用研究[J]. 计算机与现代化(6)：24-27.

朱磊. 2002. 企业：我国现阶段城市发展的行为主体[J]. 规划师，18(4)：61-64.

邹德斌. 2002. 城市建设中的旧城改造与新区开发[J]. 沈阳建筑工程学院学报：自然科学版，18(1)：25-27.

BOOKER L B, GOLDBERG D E, HOLLAND J H. 1989. Classifier systems and genetic algorithms[J]. Artificial Intelligence(40)：235-282.

CHENG Jianquan. 2003. Modeling spatial & temporal urban growth[D]. Utrecht: Atrecht University.

DE-JONG K A. 1975. An analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems[D]. Michigan: University of Michigan.

ERWIG M, SCHNEIDER M. 1997. Vague regions[C]//SCHOLL M, VOISARD A. Advances in spatial databases: the Fifth International Symposium on Large Spatial Databases(SSD'97),

lecture notes in computer science: LNCS 1262. Berlin: Springer-Verlag: 298-320.

ESPOSITO F, MICHASKI R S, SAITTA L. 2000. Special issue on multistrategy learning[J]. Machine Learning, 38: 1-2.

ESTER M, KRIEGEL H P, SANDER J. 1997. Spatial data mining: a database approach[C] // SCHOLL M, VOISARD A. Proceedings of the Fifth International Symposium on Large Spatial Databases(SSD'97). Berlin: Springer-Verlag: 48-66.

HUNT E, MARIN J, STONE P. 1966. Experiments in induction[M]. New York: Academic Press.

KIENAST F. 1993. Analysis of historic landscape patterns with a geographical information system: a methodological outline[J]. Landscape Ecology, 8(2): 103-118.

LOPEZ E, BOCCO G, MENDOZA M, et al. 2001. Predicting cover and land use change in the urban fringe: a case in Morelia city, Mexico[J]. Landscape Urban Planning, 55 (4): 271-285.

MORPHET C S. 1997. A statistical method for the identification of spatial clusters[J]. Environment and Planning: A, 29: 1039-1055.

PIJANOWSKIA B C, BROWN D G, SHELLITOC B A, et al. 2002. Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 26(6): 553-575.

QUINLAN J R. 1987. Simplifying decision trees[J]. International Journal of Man-Machine Studies, 27: 221-234.

STENDER J. 1993. Parallel genetic algorithms: theory and application[M]. Amsterdam: IOS Press.

TUFTE E R. 1983. The visual display of quantitative information[M]. Cheshire: Graphics Press.

WU Fulong, YEH A. 1997. Changing spatial distribution and determinants of land development in Chinese cities in the transition from a centrally planned economy to a socialist market economy: a case study in Guangzhou[J]. Urban Study, 34 (11): 1851-1879.

封面
书名
版权
前言
目录
第1章　城市与城市空间生长
1．1　城市的产生与发展
1．2　城市空间与城市空间生长
第2章　城市空间生长与城市规划管理
2．1　城市空间生长过程的规划管理控制
2．2　城市空间生长规划布局的思想演进
2．3　城市规划思想的发展历程
2．4　城市规划思想的发展趋势
第3章　GIS及数学方法在城市规划中的应用
3．1　GIS在城市规划中的应用
3．2　城市规划中的数学方法及其应用
3．3　研究背景
第4章　城市空间生长原理及UG-GA模型建立基础
4．1　城市空间生长的基本认识
4．2　城市空间生长的内力和驱动力
4．3　城市空间生长机制
4．4　城市空间生长的主要方式和模式
4．5　遗传算法空间生长模型建立优势分析
第5章　UG-GA模型空间操作基础
5．1　空间数据结构与数据库模型基础
5．2　城市规划空间数据类型
5．3　城市演变和扩展的空间描述
5．4　空间数据挖掘、空间特征度量及UG-GA模型下的空间操作
第6章　城市空间生长布局的多重依据
6．1　城市空间生长布局的自然条件约束
6．2　城市主要用地空间生长布局的规划理论支持
6．3　法规与技术规范对城市空间生长布局的限定
第7章　UG-GA模型框架及构建机制
7．1　基础层用地单元划分方法
7．2　决定城市空间生长格局的因素分析
7．3　城市空间生长作用因子量算方法
7．4　城市空间生长建模机制

第8章　UG-GA模型算法设计
8.1　UG-GA模型代码方式选择及初始种群设定
8.2　UG-GA模型适应度函数确定
8.3　UG-GA模型遗传算子选择
8.4　UG-GA模型遗传算法应用趋势及收敛性分析
第9章　UG-GA模型实现
9.1　UG-GA模型实现的数据及功能支持
9.2　UG-GA模型实现过程
第10章　基于UG-GA模型的城市空间生长分析——以武汉市为例
10.1　基于UG-GA模型的分析方法
10.2　武汉市城市空间生长模拟
10.3　结论